

# De offensieve buiteninzet bereikbaar?

*Een onderzoek naar het effect van verschillende interventietechnieken, bij een offensieve buiteninzet tijdens een ventilatiegecontroleerde brand*



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 bereikbaar?  
Datum: 29 februari 2016  
Status: Definitief  
Versie: 1.6  
Auteurs: ing. R. van den Dikkenberg MCDM, projectleider  
drs. K. Groenewegen-ter Morsche, onderzoeker  
L. Wolfs BBA, onderzoeker  
T. Vogel MSc, trainee onderzoeker  
Review: Expertgroep Brandweerdoctrine  
dr. Ir. R. Weewer, lector Brandweerkunde  
Eindverantwoordelijk: W. Beckmann MEd, manager Brandweeracademie

# Managementsamenvatting

Brandweer Nederland en de Brandweeracademie houden zich momenteel bezig met de ontwikkeling van het kwadrantenmodel. Een (nieuwe) inzet tactiek is de 'offensieve buiteninzet'. Voor deze nieuwe inzet tactiek zijn nog geen beproefde technieken voorhanden, of het effect is onvoldoende bekend. Om het brandweerveld een bruikbaar handelingsperspectief voor deze inzet tactiek te bieden, heeft de Brandweeracademie samen met Brandweer Nederland het project 'Offensieve Buiteninzet' (OBI) opgezet. Het OBI-project bestaat uit vijf onderdelen, waarvan de eerste drie eerder zijn uitgevoerd. Deze rapportage heeft betrekking op het vierde onderdeel.

Het doel van het voorliggende onderzoek is allereerst inzicht te geven in de mate waarin de offensieve buiteninzettechnieken in staat zijn om bij een ventilatiegecontroleerde brand in een gebouw met meerdere ruimten, waarbij de brandruimte niet direct bereikbaar is, de brand te bestrijden en/of de rookgassen te koelen. Verder wordt inzicht gegeven in het effect van de offensieve buiteninzettechnieken op parameters voor overleefbaarheid voor een slachtoffer binnen. Daarnaast is onderzocht in hoeverre de effecten op brand- en rookontwikkeling en parameters voor overleefbaarheid in stand blijven na het beëindigen van de offensieve buiteninzet. Hiertoe zijn de volgende scenario's gebruikt.

- > Een offensieve buiteninzet in een gebouw met één ruimte, waarbij rechtstreeks in de brandruimte wordt ingezet en de vuurhaard dus rechtstreeks wordt bereikt .
- > Een offensieve buiteninzet in een gebouw met twee ruimten, waarbij ingezet wordt op de aangrenzende ruimte en de vuurhaard dus niet rechtstreeks wordt bereikt .

De experimenten zijn in tweevoud uitgevoerd met coldcutter (CC), nevelkogel (NK), fognail (FN), repressieve ventilatie (RV) (alleen vanuit de aangrenzende ruimte), drukluchtschuim (DLS) en lage druk (LD). Hierbij zijn temperatuur (°C), straling, koolmonoxide (CO), zuurstof (CO<sub>2</sub>) en stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>) gemeten. Ook is het visueel beeld via reguliere camera's en warmtebeeldcamera's vastgelegd.

Centraal in dit onderzoek staat de volgende vraag:

In hoeverre kunnen met de gekozen offensieve buiteninzet technieken de beoogde doelen voor een offensieve buiteninzet worden bereikt bij een ventilatiegecontroleerde brand in een klein pand met een of twee ruimten en in hoeverre blijven deze effecten in stand na het beëindigen van de offensieve buiteninzet?

De offensieve buiteninzet kent een drietal doelen.

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

Bij de beantwoording van deze hoofdvraag is in onderstaande tabel voor elk doel op hoofdlijnen aangegeven, in hoeverre dit onder de proefomstandigheden kon worden bereikt.

Doel offensieve buiteninzet	Inzet op...	CC	NK	FN	RV	DLS	LD
Met een offensieve buiteninzet kan de brand van buitenaf worden geblust	Brandruimte	✓	✓	✓	n.v.t.	✓	✓
	Aangrenzende ruimte	✗	✗	✗	✗	✓✗	✓
Met een offensieve buiteninzet kunnen de rookgassen binnen voldoende worden gekoeld, zodat een veilige situatie wordt gecreëerd voor een offensieve binneninzet	Brandruimte	✓	✓	✓	n.v.t.	✓	✓
	Aangrenzende ruimte	✗	✗	✗	✗	✗	✓
Met een offensieve buiteninzet kan het niveau van de parameters voor overleefbaarheid behouden of verbeterd worden	Brandruimte	✓	✓	✓	n.v.t.	✓	✓
	Aangrenzende ruimte	✗	✗	✗	✓	✗	✗

Wat betreft de blussing zijn zowel CC, NK, FN, DLS als LD in staat om, bij de inzet gericht op de brandruimte, de vuurhaard te blussen in de vorm van een knockdown. Bij de situatie met inzet op de aangrenzende ruimte, en dus niet rechtstreeks in de brandruimte, zijn behalve RV, alle technieken in eerste instantie in staat om een knockdown te creëren. Maar alleen bij LD en bij één experiment met DLS is deze knockdown blijvend van aard. Bij de overige technieken vindt er nog tijdens de offensieve buiteninzet een heroplaaiing van de brand plaats.

Wat betreft de rookgaskoeling zijn alle onderzochte technieken in staat om binnen een minuut na de start van de inzet, rechtstreeks in de brandruimte de temperatuur voldoende omlaag te brengen voor een veilige offensieve binneninzet. Onder de proefomstandigheden blijkt dat na een offensieve buiteninzet rechtstreeks in de brandruimte, er met alle technieken in deze omstandigheden voldoende tijd is om over te schakelen op een offensieve binneninzet. Immers, de ploeg is dan in de brandruimte en er zijn 1-3 minuten beschikbaar voordat de brand heroplaait. Als deze heroplaaiing plaatsvindt, dan is snel ingrijpen noodzakelijk omdat dit gepaard gaat met een snelle temperatuurstijging.

Bij de inzet in een gebouw met twee ruimten, met inzet niet rechtstreeks in de brandruimte, blijken offensieve buiteninzetten met LD en in mindere mate met DLS (één van de twee experimenten) in staat om ook in een aangrenzende ruimte een inzet te doen met effect in de brandruimte. RV veroorzaakt een toename van de temperatuur in de brandruimte. De andere technieken volgen het natuurlijk brandverloop in de brandruimte en hebben daar dus niet of nauwelijks effect op de temperatuur. Het gevolg na een eerste daling is, nog tijdens de offensieve buiteninzet, een toename van de temperatuur naar de starttemperatuur. Wel koelen alle technieken de ruimte waarop zij worden ingezet snel en effectief. Na de geslaagde offensieve buiteninzet blijkt er bij LD in principe voldoende tijd om over te schakelen op een offensieve binneninzet. Ook in dat geval is een vlot verlopende offensieve

binneninzet richting de vuurhaard noodzakelijk, omdat ook hier een eenmaal oplaaierende brand leidt tot een snelle stijging van de temperatuur.

Op het gebied van parameters voor overleefbaarheid blijkt dat er een aantal factoren van invloed zijn op de overschrijding van de grenswaarde. Het gaat daarbij niet alleen om de offensieve buiteninzettechniek, maar ook om de locatie van het slachtoffer ten opzichte van de vuurhaard en de lay-out van de ruimte(n). Heel algemeen lijkt het erop dat een offensieve buiteninzet rechtstreeks in de brandruimte, waarbij het slachtoffer zich in deze ruimte bevindt, veelal een positief effect heeft ten opzichte van niets doen.

Bij een inzet in de aangrenzende ruimte lijkt het erop dat dit veelal een negatief effect heeft ten opzichte van het niet uitvoeren van een inzet. De negatieve effecten hebben vooral betrekking op een toename van de straling, in mindere mate op een afname van het O<sub>2</sub>-gehalte en een toename van NO<sub>x</sub> op slachtofferniveau. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een werveling of daling van de rookgaslaag. Het effect op het CO-gehalte is niet goed vast te stellen.

Samengevat heeft een offensieve buiteninzet rechtstreeks in de brandruimte in de onderzochte omstandigheden het grootste effect voor het bereiken van de doelen op het gebied van blussing, koeling van de rookgassen en verbetering van de parameters voor overleefbaarheid.

Offensieve buiteninzetten in de aangrenzende ruimte lijken op basis van deze onderzoeksresultaten nauwelijks effectief om de doelen van de offensieve buiteninzet in de brandruimte te bereiken. Wel is er sprake van een koeling in de aangrenzende ruimte. Voor koeling en blussing lijken LD en DLS van alle technieken het meest bruikbaar in een dergelijke situatie. Voor verbetering van de overleefbaarheid is dit het meest het geval voor repressieve ventilatie in de aangrenzende ruimte.

Na een geslaagde offensieve buiteninzet is er in deze omstandigheden voldoende tijd om veilig over te schakelen op een offensieve binneninzet. Wel is dan een vlot verlopende offensieve binneninzet richting de vuurhaard noodzakelijk, omdat een eenmaal oplaaierende brand leidt tot een snelle stijging van de temperatuur.

Na de afronding van het (volgende) rapport van de OBI-5 experimenten, zullen de resultaten van alle OBI experimenten in een handzame samenvatting worden opgenomen.

# Inhoud

<b>Managementsamenvatting</b>	<b>3</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>8</b>
1.1 Aanleiding en achtergrond	8
1.2 Doel van het onderzoek	10
1.3 Onderzoeksvragen	11
1.4 Afbakening	11
1.5 Betrokkenheid van het brandweerveld	12
1.6 Definities	12
<b>2 Onderzoeksopzet</b>	<b>14</b>
2.1 Inleiding	14
2.2 Algemene opzet	14
2.3 Object	15
2.4 Gemeten grootheden	16
2.5 Vuurlast	19
2.6 Onderzoeksprotocol	19
2.7 Onderzochte blustechnieken	20
2.8 Uniformiteit van de onderzoekscondities	22
2.9 Verwerking van de resultaten	24
2.10 Grenswaarden voor overleefbaarheid	24
<b>3 Resultaten</b>	<b>26</b>
3.1 Inleiding	26
3.2 Nulmeting	26
3.3 Coldcutter (CC)	36
3.4 Nevelkogel (NK)	48
3.5 Fognail (FN)	59
3.6 Repressieve ventilatie (RV)	69
3.7 Drukluchtschuim (DLS)	74
3.8 Lage druk (LD)	84
<b>4 Vergelijking tussen de technieken</b>	<b>98</b>
4.1 Vergelijking tussen de technieken bij inzet in de brandruimte	98
4.2 Vergelijking tussen de technieken bij inzet in twee ruimten	105
4.3 Waterverbruik	112
<b>5 Conclusies</b>	<b>114</b>
<b>6 Discussie</b>	<b>120</b>
<b>Bronnenlijst</b>	<b>124</b>
<b>Bijlage A Gebruikte meetapparatuur</b>	<b>125</b>
<b>Bijlage B Reproduceerbaarheid</b>	<b>127</b>
<b>Bijlage C Bepaling grenswaarden</b>	<b>129</b>



# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding en achtergrond

Brandweer Nederland en de Brandweeracademie houden zich momenteel bezig met de ontwikkeling van het kwadrantenmodel. Dit kwadrantenmodel maakt onderdeel uit van de brandweerdoctrine en voorziet in een viertal inzetacties voor gebouwbrandbestrijding. Een (nieuwe) inzetactie is de 'offensieve buiteninzet'. Een offensieve buiteninzet wordt gedaan indien:

- > het niet veilig is om naar binnen te gaan
- > het toch zinvol is om de brand van buitenaf aan te pakken
- > met als doel schade te beperken en/of een veilige inzet binnen mogelijk te maken om de brand te blussen of om slachtoffers te redden.

De oorspronkelijke focus lag hierbij op industriepanden. Naar de toekomst toe wordt een offensieve buiteninzet echter wellicht ook ingezet bij woningbranden.

Voor deze nieuwe inzetactie zijn nog geen onderzochte technieken voorhanden, of het effect is onvoldoende bekend. Om het brandweerveld een bruikbaar handelingsperspectief voor deze inzetactie te bieden, heeft de Brandweeracademie samen met Brandweer Nederland het project 'Offensieve Buiteninzet' (OBI) opgezet. In het project worden de bruikbaarheid en effectiviteit van een aantal bestrijdingstechnieken in een gecontroleerde, maar zo realistisch mogelijke context getest. De kernvraag voor het gehele OBI-project is:

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

Onder 'beoogde effecten' wordt verstaan:

- > voldoende koelen van rookgassen<sup>1</sup>, zodat een veilige situatie wordt gecreëerd voor een offensieve binneninset, en/of
- > de brand van buitenaf blussen, en/of
- > het niveau van de parameters voor overleefbaarheid behouden of verbeteren.

Het onderzoek is gericht op het onderzoeken *of* en *hoe* de offensieve buiteninset 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 kunnen worden bij een offensieve buiteninset. Deze technieken – CC, NK, FN, RV, DLS, hoge druk (HD) en LD – worden in dit project onderzocht. Aanvullend is antiventilatie als inzetmethode onderzocht: het juist niet optreden, maar dichthouden van het gebouw zodat de brand verstikt. Deze experimenten dienen tevens als nulmeting voor dit onderzoek, om het effect van de inzet met de verschillende technieken te kunnen vergelijken met wat er zou gebeuren als er geen inzet zou plaatsvinden.

Het OBI-project bestaat uit vijf onderdelen, waarvan de eerste drie zijn uitgevoerd.

- > Een vooronderzoek naar de CC versus hoge druk-inzet in een container met beperkte vuurlast, waarbij rechtstreeks op de brandruimte is ingezet.

<sup>1</sup> Ook inertiseren van de rookgassen is een optie, maar wordt in dit onderzoek niet meegenomen.



- > Een vergelijkend onderzoek (OBI 1) in een industriële omgeving, waarbij de CC, FN, NK, DLS en hoge druk getest zijn ten opzichte van elkaar in één scenario in een loods van circa 10x15 meter, met een vuurlast bestaande uit twee stapels hout (pallets). Er is rechtstreeks in de brandruimte ingezet. De inzet duurde tot het moment waarop de temperatuur in de rookgaslaag onder de 150 °C daalde, waarna naar binnen werd gegaan om af te blussen.
- > Een vergelijkend onderzoek (OBI 2/3) in een woonhuisomgeving in de vorm van een aantal geschakelde containers, met een omgeving bestaande uit meerdere ruimten en een vuurlast bestaande uit kunststof en hout. De brandhaard kon niet rechtstreeks bereikt worden.

Op basis van bovenstaande experimenten zijn de volgende vragen gesteld.

- > Verkennend experiment: wat doet de CC met de temperatuur bij rechtstreeks inzetten op een klein pand met een kleine vuurlast?
- > OBI 1: in hoeverre zijn de CC, FN, NK en LD bij een offensieve buiteninzet in staat om de temperatuur tot onder de 150 °C te brengen, in een grote ruimte met beperkte vuurlast en bij inzet rechtstreeks in de brandruimte (waarbij de vuurhaard geraakt kan worden)?
- > OBI 2/3: in hoeverre kan met een offensieve buiteninzet met de CC, FN, NK en LD<sup>2</sup> in een klein gebouw, met meerdere ruimten en met een grote vuurlast de temperatuur in alle ruimten met een inzet van maximaal drie keer een minuut omlaag brengen, wanneer niet rechtstreeks in de brandruimte wordt ingezet?

Door de kenmerken van de reeds uitgevoerde projecten te leggen naast de centrale onderzoeksvraag van het OBI-project, is geanalyseerd welke onderdelen nog onderzocht moeten worden om de centrale vraag te kunnen beantwoorden. Er zijn daarbij de drie vragen over.

1. In hoeverre is de offensieve buitentechniek in staat om bij de inzet in gebouwen, waarbij de brandhaard niet direct bereikbaar is, effectief te zijn door de brand te blussen, de temperatuur van de rookgaslaag < 150 °C te brengen of de parameters voor overleefbaarheid te behouden en/of verbeteren<sup>3</sup>?
2. In hoeverre is de offensieve buiteninzettechniek in staat, bij een inzet in een groot gebouw met grote inzetdiepte en met een hoge vuurlast effectief door de brand te blussen, de temperatuur van de rookgaslaag < 150 °C te brengen of de parameters voor overleefbaarheid te behouden en/of verbeteren<sup>4</sup>?
3. Wat gebeurt er met de brandontwikkeling als de offensieve buiteninzet wordt beëindigd (met als doel om over te schakelen op een offensieve binneninzet)?

Het onderzoek dat beschreven is in dit rapport, OBI 4, richt zich op vraag 1 en 3. Het nog uit te voeren project OBI 5 richt zich op vraag 2 en 3. Op basis hiervan heeft de expertgroep voor OBI 4 voor de volgende configuratie en kenmerken gekozen (zie tabel 1-1 op de volgende pagina).

<sup>2</sup> Daarnaast zijn ook verkennende experimenten met RV en DLS uitgevoerd.

<sup>3</sup> Deze vraag lijkt op de onderzoeksvraag van OBI 2/3. In dit onderzoek is echter 3 keer 1 minuut ingezet, in plaats van continue inzetten tot het bereiken van de genoemde temperatuur. Bovendien zijn niet bij ieder systeem alle configuraties onderzocht. Dat wordt in OBI 4 wel gedaan (dus inzet in een gebouw met 1 ruimte, inzet in een gebouw met 2 ruimten, om een hoek, et cetera). Ook zijn parameters voor overleefbaarheid (anders dan temperatuur) bij OBI 2/3 niet gemeten en wordt dit bij OBI 4 wel gedaan.

<sup>4</sup> Bij beantwoording van deze vraag wordt, in tegenstelling tot OBI 1, een grotere, uitbreidbare vuurlast op een grotere afstand van de wand geplaatst waar wordt ingezet. Dit is bedoeld om de grenzen van de offensieve buiteninzettechnieken te onderzoeken. Ook worden parameters voor overleefbaarheid gemeten, wat bij OBI 1 niet is gedaan.

Tabel 1-1. Configuratie en kenmerken OBI 4

		OBI 4
Gebouw	Aard gebouw	Klein kantoorgebouwtje
	Omvang gebouw	4 x 6 meter
	Lay-out gebouw	Gebouw met meerdere ruimten
	Materiaal gebouw	Staal
Brand	Aard vuurhaard	Vuurlast van kunststof en hout
	Omvang vuurlast	Hoog, beperkt oppervlak
	Bereikbaarheid vuurhaard	Niet direct bereikbaar (door lay-out)
	Uitbreidbaarheid vuurhaard	Niet uitbreidbaar
Inzet/opzet onderzoek	Onderzochte technieken	CC, NK, FN, DLS, LD (+ verkennende experimenten RV)
	Inzet in	Brandruimte en aangrenzende ruimte
	Eindcriterium	Inzetten tot temperatuur rookgaslaag < 150 °C <sup>5</sup>
	Na bereiken eindcriterium	Effect overschakelen op binneninzet bepalen
	Gemeten variabelen	Temperatuur Visueel beeld Straling O <sub>2</sub> CO NO <sub>x</sub>

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

## 1.2 Doel van het onderzoek

Het doel van OBI 4 is inzicht te geven in de mate waarin de offensieve buiteninzettechnieken in staat zijn om bij een ventilatiegecontroleerde brand in een gebouw met meerdere ruimten, waarbij de brandruimte 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.

Bij OBI 2/3 werd verwacht dat inzettechnieken in staat zouden zijn de lay-out met vier ruimten in drie keer één minuut te koelen. Dit bleek niet het geval. Daarbij is een wetenschappelijke benadering gebruikt waarbij alle technieken gedurende een vergelijkbaar tijdsplan zijn ingezet, los van de daadwerkelijke toepassing in de praktijk. Daarom wordt in OBI 4 onderzocht wat er mogelijk is met de technieken als er, conform de gebruikelijk praktijk, langer en continue wordt ingezet. Ook is in OBI 4 gebruikgemaakt van

<sup>5</sup> Inzet maximaal 10 minuten.

een gebouw met minder ruimten<sup>6</sup> en is voor iedere test een nieuwe brand gebruikt. Hierdoor wordt gedetailleerd bepaald wat wel en niet mogelijk is per techniek, waar het gaat om de lay-out van het gebouw.

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. Het vertalen van de resultaten naar concrete handvatten voor het brandweerveld zal daarom gebeuren na afronding van OBI 5 in de vorm van een eenvoudig leesbare kennispublicatie, waarin alle onderzoeksresultaten worden omgezet in concreet handelingsperspectief.

### 1.3 Onderzoeksvragen

Bij het onderdeel OBI 4 wordt de volgende onderzoeksvraag beantwoord:

In hoeverre kunnen met de gekozen offensieve buiteninzet technieken de beoogde doelen voor een offensieve buiteninzet worden bereikt<sup>7</sup> bij een ventilatiegecontroleerde brand in een klein pand met een of twee ruimten en in hoeverre blijven deze effecten in stand na het beëindigen van de offensieve buiteninzet?

Hiervoor zijn de volgende vier deelvragen geformuleerd.

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 is<sup>8</sup>?
3. In hoeverre zijn de offensieve buiteninzettechnieken in staat om het niveau van de parameters voor *overleefbaarheid* (temperatuur, straling, CO, O<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub>) op slachtofferniveau in de verschillende ruimten te behouden of 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?

Bovenstaande onderzoeksvragen worden beantwoord voor een inzet in de brandruimte als voor een inzet in de aangrenzende ruimte.

### 1.4 Afbakening

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

<sup>6</sup> In OBI 2/3 was er geen ruimte om elk systeem apart in lay-outs met minder ruimten te onderzoeken. Afhankelijk van de resultaten is daarom na het ineffectief zijn, dezelfde brand (die al beïnvloed was) gebruikt om in andere configuraties te onderzoeken. Daarbij was de ruimte waarop werd ingezet afhankelijk van de effectiviteit van het middel. De minst effectieve technieken zijn daardoor niet onderzocht op bijvoorbeeld ruimte 3 en ruimte 4, terwijl deze informatie wel nodig is om de ondergrenzen van de technieken te onderzoeken.

<sup>7</sup> Voldoende koelen van rookgassen, 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 behouden of verbeteren.

<sup>8</sup> In staat om de rookgassen, voordat de brandstof op raakt, overal tot onder de 150 °C te koelen.

In het scenario van OBI 4 is sprake van één vuurhaard. Deze vuurhaard vormt de enige brandlast in het pand, waardoor er geen andere pyrolyserende materialen zijn en de brand zich niet kan uitbreiden. In het onderzoek is de temperatuur tijdens de inzet gemeten, evenals het waterverbruik. Andere parameters, zoals luchtvochtigheid, druk, samenstelling van de rookgassen en de hoeveelheid hout die daadwerkelijk is opgebrand, is niet gemeten.

Voor de OBI 4 experimenten zijn alleen de vooraf door de expertgroep geselecteerde<sup>9</sup> in Nederland gebruikte technieken en inzetmethoden onderzocht: de CC, NK, FN, RV, DLS en LD.

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 het scenario.

## 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 bestaat uit door de deelnemende brandweerregio's<sup>10</sup> geselecteerde en afgevaardigde experts. De expertgroep heeft het onderzoeksprotocol vastgesteld, heeft meegedacht bij de interpretatie van de resultaten en heeft het conceptrapport gereviewd. Daarnaast hebben brandweermensen de technieken toegepast in het onderzoek en ondersteund tijdens de experimenten.

## 1.6 Definities

Hier volgen verklaringen van de belangrijkste, veel gebruikte termen in deze rapportage.

Term	Verklaring
Knockdown	Er zijn geen vlammen meer zichtbaar. De brand kan zich nog wel in een gloeistadium bevinden.
Offensieve buiteninzet	Een inzet van buiten het gebouw, met als doel de overlevingscondities voor slachtoffers te verbeteren en veilige betreding voor brandweermensen mogelijk maken, uitbreiding te voorkomen en/of de brand te blussen.
Realistische omstandigheden	Omstandigheden die in de brandweerpraktijk voor kunnen komen.
Rookgaskoeling	Het koelen van de aanwezige zichtbare en onzichtbare rookgassen.
Veilige situatie brandweerpersoneel	Een situatie waarbij de temperatuur van de rookgaslaag lager is dan 150 °C.
Ventilatiegecontroleerde brand	Een brand waarbij het brandvermogen en de groeisnelheid afhankelijk zijn van de hoeveelheid beschikbare O <sub>2</sub> .

<sup>9</sup> Mede op basis van eerder uitgevoerde OBI experimenten.

<sup>10</sup> 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.

In dit rapport worden omwille van de leesbaarheid verschillende afkortingen gebruikt, zie voor een overzicht van de meest gebruikte afkortingen onderstaande tabellen.

Inzettechniek	Afkorting
Coldcutter	CC
Nevelkogel	NK
Fognail	FN
Repressieve ventilatie	RV
Drukluchtschuim	DLS
Lage druk	LD

Parameters (selectie) <sup>11</sup>	Afkorting
Koolmonoxide	CO
Zuurstof	O <sub>2</sub>
Stikstofoxiden	NO <sub>x</sub>
Graden Celsius (temperatuur)	°C

Meetapparatuur	Afkorting
Thermokoppel	TK
Stralingsmeter	SM
Testo (O <sub>2</sub> , CO en NO <sub>x</sub> )	B

<sup>11</sup> Voor de parameter 'straling' is geen afkorting gebruikt.

# 2 Onderzoeksopzet

## 2.1 Inleiding

Allereerst wordt in dit hoofdstuk de algemene opzet van dit onderzoek beschreven. Vervolgens wordt een kort overzicht gegeven van de gemeten grootheden. Daarna wordt er nader ingegaan op het onderzoeksobject (locatie), de vuurlast, het testprotocol, de (kenmerken van de) onderzochte blustechnieken, de uniformiteit van condities tijdens de experimenten, de verwerking (analyse) van de resultaten en de grenswaarden voor overleefbaarheid.

In het praktijkonderzoek is gekeken naar de mogelijkheden van de technieken om:

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

In het kader van onderzoek naar de overleefbaarheid van de situatie van slachtoffers is naast temperatuur, ook straling, CO, O<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> gemeten. Daarnaast is gekeken wat het effect is als na de inzet fictief het gebouw wordt betreden voor nabluswerkzaamheden of een naverkenning. Hiertoe werd na de inzet de deur geopend en vervolgens vijf minuten gemonitord wat er gebeurde met het brandverloop en de hierboven genoemde parameters. Tevens is gekeken wat er gebeurt als er geen inzet kan plaatsvinden. Deze experimenten dienden als nulmeting, maar kunnen ook worden gezien als toepassing van antiventilatie als techniek.

## 2.2 Algemene opzet

De scenario's voor OBI 4 zijn als volgt.

### Scenario 1

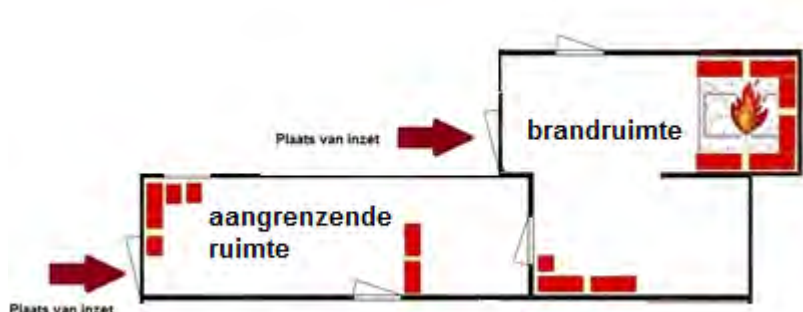
Er is brand uitgebroken in een bedrijfsverzamelgebouw. De brandhaard is direct bereikbaar. De situatie is dusdanig dat bij aankomst besloten wordt tot een offensieve buiteninzet, rechtstreeks in de brandruimte. Bij de naverkenning blijkt er sprake te zijn van slachtoffers in de ruimten.

### Scenario 2

Er is brand uitgebroken in een bedrijfsverzamelgebouw. De brandhaard is niet direct bereikbaar maar bevindt zich achter in het gebouw, met een lay-out bestaande uit twee ruimten. Vanaf de andere zijden is het pand niet bereikbaar, dus direct inzetten in de brandruimte is niet haalbaar. Er wordt in de aangrenzende ruimte ingezet. De inzetrichting bevindt zich in het verlengde van de brand. De situatie is dusdanig dat het bij aankomst besloten wordt tot een offensieve buiteninzet. Bij de naverkenning blijkt er sprake te zijn van slachtoffers in de ruimten.

Om de effectiviteit van de technieken in de verschillende ruimten te onderzoeken, wordt voor ieder scenario/lay-out een nieuwe brand gesticht.

- > Rookgaskoeling en eventuele blussing geschiedt door inzet rechtstreeks op de brandruimte.
- > Rookgaskoeling en eventuele blussing geschiedt door inzet op een ruimte aangrenzend aan de brandruimte. De inzetrichting bevindt zich in het verlengde van de brandruimte. Er wordt van buitenaf rechtstreeks ingezet op de brandruimte. Bij de inzet op de aangrenzende ruimte is er geen direct contact van de blusstof met de vuurhaard mogelijk, door het plaatsen van een tussenwand. Zie ook figuur 2-1.



Figuur 2-1. De twee te onderzoeken inzetten in gebouwen met verschillende lay-out

## 2.3 Object

De experimenten zijn uitgevoerd op brandweeroefencentrum Troned. Het onderzoeksobject is een gebouw bestaande uit geschakelde (zee)containers en is opgedeeld in twee aaneengeschakelde ruimten. De afmetingen van de ruimten zijn:

- > aangrenzende ruimte: 2,45 x 7,45 meter (18,3 m<sup>2</sup>)
- > brandruimte: 5,85 x 4,7 meter (27,5 m<sup>2</sup>).

De hoogte in de containers is overal 2,3 meter. Rondom de vuurhaard is een stenen muur geplaatst, zodat een realistische omgeving ontstaat.

In de aangrenzende ruimte is een muurtje geplaatst, om te voorkomen dat de technieken rechtstreeks in de vuurhaard konden blussen.



Figuur 2-2. Overzicht van het onderzoeksobject

## 2.4 Gemeten grootheden

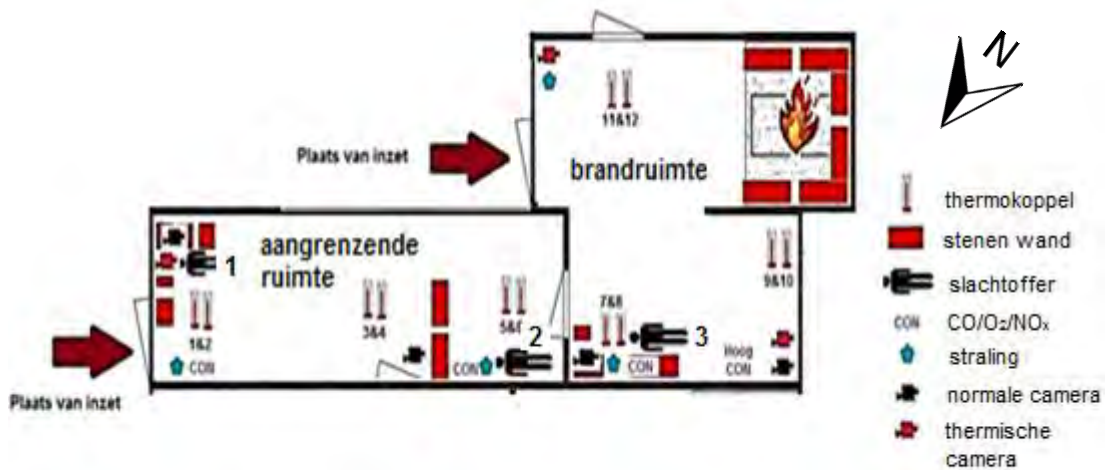
Tijdens de experimenten zijn parameters voor brandverloop en overleefbaarheid gemeten. Het gaat daarbij om het visuele beeld binnen, het thermische beeld binnen, de temperatuur (°C), koolmonoxide (CO), zuurstof (O<sub>2</sub>), straling en stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>). Daarnaast zijn tijden geregistreerd en is het waterverbruik vastgelegd.

De meetapparatuur is in de brandruimte en aangrenzende ruimte geplaatst, waarbij de temperatuur op 200 cm en 50 cm is gemeten. De overige parameters zijn op 50 cm hoogte vanaf de grond op drie plaatsen (slachtofferniveau) geïnstalleerd. In de brandruimte is ook koolstofmonoxide, O<sub>2</sub>, straling en NO<sub>x</sub> bovenin de ruimte gemeten. In tabel 2-1 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 A. De positie van de meetapparatuur en de fictieve slachtoffers zijn weergegeven in figuur 2-3.

Tabel 2-1. Overzicht van gemeten parameters, meetwijze en locatie

Variabele	Meetwijze	Locatie
Visueel beeld binnen	Reguliere camera's (Zepcam)	2x in brandruimte 2x in aangrenzende ruimte
Thermisch beeld binnen	Thermische camera's (Argus)	2x in brandruimte 1x in aangrenzende ruimte
Temperatuur	Thermokoppels	3 locaties in aangrenzende ruimte 3 locaties in brandruimte Elke locatie op 200 cm en op 50 cm van de vloer
CO	CO-meter (Testo)	1x in brandruimte op 50 cm van de vloer 1x in brandruimte in de rookgaslaag 2x in aangrenzende ruimte op 50 cm van de vloer
O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> -meter (Testo)	1x in brandruimte op 50 cm van de vloer 1x in brandruimte in de rookgaslaag 2x in aangrenzende ruimte op 50 cm van de vloer
NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub> meter (Testo)	1x in brandruimte op 50 cm van de vloer 1x in brandruimte in de rookgaslaag 2x in aangrenzende ruimte op 50 cm van de vloer
Straling	Stralingsmeter	2x in brandruimte op 50 cm 2x in aangrenzende ruimte op 50 cm





Figuur 2-3. Locatie van de meetapparatuur in de twee ruimten

### 2.4.1 Visueel en thermisch beeld

Het visuele beeld is vastgelegd met warmtebeeldcamera's en gewone camera's, met als doel om inzicht te krijgen in het brandverloop en om eventuele bijzonderheden die zich tijdens de inzet voordoen te kunnen onderzoeken. De inzetploeg en waarnemers aan de buitenzijde zijn gevraagd om achteraf direct na de inzet middels een kort interview hun ervaringen en waarnemingen te delen. Het visueel en thermisch beeld zijn gebruikt om te bepalen wanneer er een knockdown plaatsvond.

### 2.4.2 Temperatuur

Voor het bepalen van het koelend effect 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 hetzelfde is geweest. Hierdoor geeft 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 start van de inzet.
- > De minimale temperatuur in elke ruimte na de inzet.

Voor de temperatuurregistratie is gebruikgemaakt van 12 thermokoppels, die op verschillende plaatsen in het pand zijn bevestigd. Alle thermokoppels zijn afgeschermd, zodat niet onbedoeld naast temperatuur ook de straling wordt gemeten (zie figuur 2-4). Deze afscherming is uitgevoerd in de vorm van een hol vierkant blok, voorzien van een isolerende binnenlaag. De zijkanten van het blok zijn open. Om te voorkomen dat blusmiddel de thermokoppels kan raken, zijn de open kanten dwars op de richting van het blusmiddel geplaatst. Een uitzondering hierop vormt thermokoppel 12, deze thermokoppel is niet afgeschermd, zodat deze tevens de stralingswarmte meet bovenin de ruimte. De thermokoppels 1, 3, 5, 7, 9, 11 en 12 bevinden zich 10 cm onder het plafond en meten de temperatuur van de rookgaslaag in de verschillende ruimten.



**Figuur 2-4. Afscherming thermokoppels**

### 2.4.3 Straling

Naast temperatuur is ook de straling gemeten. Hiertoe is op vier plaatsen (twee in iedere ruimte) de straling gemeten. Driemaal bij de positie van het slachtoffer en eenmaal recht tegenover de vuurhaard. De stralingsmeter is onder een hoek van 45 graden gericht naar de rookgaslaag. Zie figuur 2-5.



**Figuur 2-5. Stralingsmeter**

### 2.4.4 Koolmonoxide (CO), zuurstof (CO<sub>2</sub>) en stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>)

Voor met name de overleefbaarheid van eventuele slachtoffers en om de risico's op rookgasexplosies te kunnen inschatten bij eventuele binnentreden van de brandweer voor nablussen en verkenning, zijn naast het O<sub>2</sub>-gehalte ook de concentraties van twee veel voorkomende gassen in de rook bij brand (CO en NO<sub>x</sub>) gemeten. CO en NO<sub>x</sub> 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. Voor het gevaar van ondergeventileerde branden en explosief mengsel is in de brandruimte gemeten in de rookgaslaag.

### 2.4.5 Tijdsduur

De parameter met betrekking tot tijd is de snelheid van temperatuurdaling tot het bereiken van de grenswaarde van 150 °C. Verder is de tijdsregistratie vooral gebruikt om het testprotocol uit te kunnen voeren: er wordt maximaal 10 minuten ingezet, waarna de deur wordt geopend en nog 5 minuten wordt doorgemeten.

Er is sprake van een synchrone tijdsregistratie met de temperatuurmeting en het waterverbruik.

### 2.4.6 Waterverbruik

De parameter met betrekking tot waterverbruik was de hoeveelheid verbruikt water per inzet. Het waterverbruik is 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 en

de FN het waterverbruik gemeten is met de analoge watermeter en dat het waterverbruik bij de NK, DLS en LD gemeten is met de digitale watermeter. Het waterverbruik is gemeten door de watermeter te plaatsen tussen de hydrant en de tankautospuit. De waterstanden zijn genoteerd voorafgaand aan het experiment en na iedere inzet.

## 2.5 Vuurlast

Voor de vuurlast is gebruikgemaakt van een representatieve brandlast (pallets en spaanplaat, kunststof). De vuurhaard kan zich niet uitbreiden. De positionering van de vuurhaard is zodanig, dat bij een directe inzet in de brandruimte deze vuurhaard van buitenaf te bereiken is.

De opbouw van de vuurlast (van boven naar beneden) is als volgt (zie figuur 2-6):

- > spaanplaat (1220 x 1220 x 18 mm)
- > 4 klosjes (1 op elke hoek)
- > spaanplaat
- > 4 klosjes (1 op elke hoek)
- > spaanplaat
- > 3 pallets
- > triplex plaat
- > schuimmatras
- > triplex plaat
- > 5 pallets

Naast de vuurlast aan beide zijden een spaanplaat, schuin geplaatst (onderin tegen vuurhaard) en boven de vuurhaard tegen het plafond.

In totaal bestaat de vuurlast uit circa 180 kg vurenhout, 107 kg spaanplaat, 9 kg schuim en 4 kg triplexplaat. Dit komt neer op een totaal potentieel brandvermogen van circa 5800 MJ.



Figuur 2-6. Opbouw vuurlast

## 2.6 Onderzoeksprotocol

De experimenten zijn uitgevoerd in twee gebouwconfiguraties. Bij de eerste configuratie wordt ingezet in de brandruimte, waarbij de vuurhaard rechtstreeks bereikt kan worden. Bij de tweede configuratie is er sprake van twee ruimten, waarbij ingezet wordt vanuit de aangrenzende ruimte en waarbij de vuurhaard niet rechtstreeks bereikt kan worden. Het ontsteken van de brand gebeurt volgens een vast protocol, dat tijdens eerdere OBI experimenten is bepaald. De helft van de aanmaakvloeistof wordt over twee aansteekstroken zachtboard verspreid. De overige hoeveelheid aanmaakvloeistof wordt over de onderste vier pallets gesprekend. Vervolgens worden de aansteekstroken aangestoken en onder de pallets geschoven. Door middel van het openen en sluiten van ventilatieopeningen voorafgaand aan het experiment is geprobeerd een zo identiek mogelijke brand te creëren. Daarbij is het doel een zo hoog mogelijke temperatuur in de brandruimte én een ongeveer gelijke, verdichte, rookgaslaagdikte te verkrijgen. Nadat de deur gesloten is, moet de temperatuur in de brandruimte ongeveer constant blijven ( $\geq 500$  °C) en de rookgaslaag een voldoende dikte én verdichting hebben. Circa 20 seconden nadat de deur gesloten is begint de inzet.

Vanuit een luikje (ca. 10 bij 20 cm) in de toegangsdeur wordt van buitenaf ingezet. Zodra het criterium < 150 °C in de rookgaslaag van de brandruimte is bereikt, wordt de inzet gestaakt en de tijdsduur genoteerd. De maximale inzetduur bedraagt 10 minuten. Zodra het stopcriterium of de maximale inzetduur is bereikt, wordt gestopt met de inzet en wordt de toegangsdeur van de betreffende ruimte opengezet om fictief het binnentreden van een brandweerploeg te simuleren. Hierna wordt nog maximaal 5 minuten het verdere verloop van de brand gemeten. Om de container en de meetapparatuur te beschermen tegen oververhitting, wordt de inzet gestaakt indien in de brandruimte een temperatuur > 700 °C wordt bereikt.

## 2.7 Onderzochte blustechnieken

Het expertteam heeft een keuze gemaakt voor het onderzoeken van zes technieken. De keuze voor deze technieken is mede gebaseerd op de resultaten van een eerder uitgevoerde experiment voor de offensieve buiteninzet (OBI 2/3) (Van den Dikkenberg & Groenewegen, 2015). Het betreft:

- > coldcutter (CC)
- > nevelkogel (NK)
- > fognails (FN)
- > repressieve ventilatie (RV)
- > drukluchtschuim (DLS)
- > lage druk (LD)

Naast genoemde technieken die specifiek zijn bedoeld voor de offensieve buiteninzet (CC, FN, NK en eventueel RV), is ook het effect van DLS en LD onderzocht. Hierbij is er vanuit gegaan dat deze technieken worden gebruikt als offensieve buiteninzet techniek, dus vanuit een kleine opening zonder binnen te treden. Alle technieken zijn tweemaal onderzocht.

**Tabel 2-2. Kenmerken van de gebruikte blustechnieken**

Blus-techniek	Merk/type blusmiddel	Straalpijp	Debiet en kegelhoek	Gebruikte pompdruk	Dynamische werkdruk
CC	Water <sup>12</sup>	Lange Cobralans	60 l/min kleine kegelhoek <sup>13</sup>	290 bar	260 bar
NK	Water	Geen straalpijp aanwezig, wel een afsluiter op de NK	380 l/min. <sup>14</sup>	8 bar LD	5 bar op kop NK
FN	Water	LD FN	70 l/min	10 bar	7 bar
RV	Leader MT236	Honda GX160 benzine motor	Bruto opbrengst 43.100 m <sup>3</sup> / h	n.v.t.	n.v.t.

<sup>12</sup> Voor het snijden wordt gebruikgemaakt van water met een abrasief.

<sup>13</sup> Exacte kegelhoek is niet bekend.

<sup>14</sup> Kegelhoek niet bekend, NK geeft waternevel in een ronde vorm.

DLS	A-klasse OneSeven van Schmitz Bijmeng-percentage 0,3%	Reguliere DLS-straalpijp	135 l/min gebonden straal <sup>15</sup>	8 bar	7 bar
LD	Water	TFT F06	480 l/min 15-25°	9 bar	7 bar

CC = Coldcutter; NK = Nevelkogel; FN = Fognail; RV = Repressieve ventilatie;  
DLS = Drukluchtschuim; LD = Lage druk.

De technieken zijn toegepast zoals weergegeven in tabel 2-3.

**Tabel 2-3. Inzetwijze per techniek**

Techniek	Inzetwijze
CC	De CC wordt gedurende maximaal 10 minuten continu vanaf de toegangsdeur ingezet via een kleine opening in de deur (de deur zelf blijft dicht), ter hoogte van de schouder. De straalpijvoerder was geknield waarbij de lans schuin omhoog gericht was. Er werd geen grit gebruikt.
NK	De NK wordt gedurende maximaal 10 minuten continu vanaf de toegangsdeur ingezet via een kleine opening in de deur (de deur zelf blijft dicht), ter hoogte van de schouder. Bij inzet rechtstreeks in de brandruimte wordt de lans 2,60 meter naar binnen gestoken. Bij inzet in de aangrenzende ruimte wordt de lans 5,20 meter naar binnen gestoken.
FN	De FN wordt gedurende maximaal 10 minuten continu vanaf de toegangsdeur ingezet via een kleine opening in de deur (de deur zelf blijft dicht), ter hoogte van de schouder. De lans wordt langzaam beperkt horizontaal oscillerend bewogen.
RV	De RV wordt voor de toegangsdeur (1,18 x 2,18 m) van de aangrenzende ruimte geplaatst en gedurende maximaal 10 minuten continu ingezet, waarbij voor het creëren van een luchtstroom richting de brandruimte een deur (93 x 219 cm) in de brandruimte naar buiten wordt opengezet. De deur blijft open. In dit experiment is gebruikgemaakt van een motor aangedreven ventilator, die op een dusdanige afstand van de deuropening wordt geplaatst dat de verwachting is dat de luchtstroom de gehele deuropening afdekt.
DLS	Bij DLS wordt gedurende maximaal 10 minuten continu vanaf de toegangsdeur ingezet via een kleine opening in de deur (de deur zelf blijft dicht), ter hoogte van de schouder. Bij inzet rechtstreeks in de brandruimte wordt een Z-beweging met gebonden straal bovenin gemaakt. Vervolgens wordt het klepje aan de straalpijp gebruikt en wordt afgezakt naar beneden vanaf de deur richting vuurhaard. Daarna wordt het klepje weggeklapt en verder met gebonden straal op vuurhaard ingezet. Indien onvoldoende resultaat wordt de inzet met klepje herhaald. Bij inzet in de aangrenzende ruimte wordt dezelfde procedure gehanteerd, waarbij wordt opgemerkt dat de vuurhaard vanaf deze inzet niet rechtstreeks geraakt kan worden.
LD	Bij LD wordt gedurende maximaal 10 minuten continu vanaf de toegangsdeur ingezet via een kleine opening in de deur (de deur zelf blijft dicht), ter hoogte van de schouder. Bij inzet rechtstreeks in de brandruimte wordt tweemaal een O-vormige beweging gemaakt, waarna de gebonden straal in vuurhaard wordt gericht. De kegelhoek bedraagt 15-20 graden. Bij inzet in de aangrenzende

<sup>15</sup> Bij de DLS straalpijp is het niet mogelijk om een kegelhoek in te stellen. De straalpijp produceert een volstraalbundel.

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
- > RV: Brandweerregio Twente
- > DLS: Brandweerregio Gooi en Vechtstreek
- > LD: CFBT gecertificeerde instructeurs.

## 2.8 Uniformiteit van de onderzoekscondities

De beschreven procedure van opbouwen, aansteken en monitoren van het brandverloop is gevolgd om ervoor te zorgen dat iedere startsituatie zoveel mogelijk identiek is en het experiment op een vergelijkbare, uniforme wijze wordt uitgevoerd. Zo is sprake van pallets uit één levering, die onder gelijke condities voorafgaand aan het experiment worden opgeslagen. Hetzelfde geldt voor de gebruikte schuimmatrassen, 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 wordt telkens dezelfde straalpijpvoerder ingezet. Na iedere inzet wordt de ruimte gereconditioneerd. Hiervoor zijn de volgende handelingen verricht, het:

- > verwijderen van de brandresten uit de brandruimte
- > verwijderen van het blusmiddel uit de brandruimte
- > koelen van de muren en lucht tot de hoogste thermokoppel een temperatuur aangaf lager dan 100 °C.

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

Er zijn twee aspecten die niet uniform waren tussen de experimenten. Ten eerste zijn de meteorologische omstandigheden gedurende de week waarin het onderzoek plaatsvond niet constant. Op sommige dagen of momenten van de dag was er sprake van meer of minder wind, wel of geen regen en verschillende temperaturen. Analyse van de meteogegevens van het KNMI-station op Troned<sup>16</sup> laat zien dat deze verschillener 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 plaats hebben gevonden zijn terug te vinden in tabel 2-4.

---

<sup>16</sup> Locatie vliegveld Twente.

Tabel 2-4. Meetgegevens KNMI-station Twente (290) <sup>17</sup>

Datum	Uitgevoerde experimenten	Windrichting	Windsnelheid <sup>18</sup>	Temperatuur <sup>19</sup>	Neerslag <sup>20</sup>	Duur neerslag	Rel. vochtigheid <sup>21</sup>	Gem. luchtdruk
2 mrt 2015	CC4-1 CC4-2 CC43-1 CC43-2 8 min43-1	W (258°)	5.7 m/s	5.3 °C	2,4 mm	0.8 uren	69%	1005.4 hPa
3 mrt 2015	8 min43-2 FN4-1 FN4-2 FN43-1 FN43-2 AV43-1	ZW (230°)	4.9 m/s	4.4 °C	2.0 mm	2.6 uren	80%	1015.2 hPa
4 mrt 2015	RV43-1 RV43-2 NK4-1 NK4-2 NK43-1 NK43-2	W (278°)	4.4 m/s	5.1 °C	0.3 mm	0.3 uren	77%	1025.2 hPa
5 mrt 2015	LD4-1 LD4-3 LD43-1 LD43-5	W (266°)	2.8 m/s	5.7 °C	0 mm	0 uren	79%	1037.0 hPa
6 mrt 2015	DLS4-2 DLS4-3 DLS43-1 DLS43-2	ZW (219°)	3.2 m/s	6.6 °C	0 mm	0 uren	77%	1034.5 hPa
30 sept 2015	AV4-2 AV4-3	O (60°C)	3.7 m/s	11.2 °C	0 mm	0 uren	78%	1035.5 hPa

Een tweede aspect waarop de experimenten afwijken van elkaar, zijn 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 2.6 zijn bereikt. Op deze wijze wordt geprobeerd een zo identiek mogelijke brand te creëren. Vanaf dat moment wordt het vastgestelde protocol voor het bereiken van de startconditie gevolgd.

Een analyse van de reproduceerbaarheid is opgenomen in bijlage B.

<sup>17</sup> KNMI, <http://projects.knmi.nl/klimatologie/daggegevens/selectie.cgi>

<sup>18</sup> Etmaalgemiddelde.

<sup>19</sup> Etmaalgemiddelde.

<sup>20</sup> Etmaalsom.

<sup>21</sup> Etmaalgemiddelde.

## 2.9 Verwerking van de resultaten

Na afloop van de praktijkexperimenten zijn de data van de thermokoppels, de stralingsmetingen, CO, O<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub>-metingen, de tijd- en waterregistratie, de ervaringen uit de interviews, de bijzonderheden uit het logboek en het visuele beeld dat met camera's is 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, voor de inzet rechtstreeks in de brandruimte en bij een inzet in de aangrenzende ruimte. 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 enerzijds voor gekozen vanwege de foutmarge in de meetapparatuur van de stralingsmeters en anderzijds vanwege fluctuaties gedurende het meetinterval van de stralingsmeting. Er is daarbij gekozen voor een harde scheiding tussen de opstartfase en de inzetfase voor het berekenen van het gemiddelde.

## 2.10 Grenswaarden voor overleefbaarheid

De gehanteerde grenswaarden voor overleefbaarheid zijn gebaseerd op uitgebreid internationaal literatuuronderzoek in het kader van de projecten 'Het kan verkeren' (Hazebroek, Greven, Groenewegen & Van den Dikkenberg, 2015) en 'Gebrand op inzicht' (Kobes & Groenewegen, 2015). In bijlage C is opgenomen hoe de grenswaarden zijn bepaald.

Tabel 2-5. Overzicht van de grenswaarden voor de parameters van overleefbaarheid

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

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 zijn echter wel beperkingen. Zie hiervoor hoofdstuk 6, de discussie.

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 van 6 kW/m<sup>2</sup> erger zijn als dit langdurig 9 kW/m<sup>2</sup> is, dan wanneer de grenswaarde een seconde 10 kW/m<sup>2</sup> bereikt. Toch worden in dit rapport de grenswaarden strikt gehanteerd. De reden



hiervoor is dat het afwijken hiervan automatisch tot nieuwe, andere grenswaarden leidt en de discussie hierdoor slechts verschuift.

Het overschrijden van de grenswaarde wil niet per definitie zeggen dat iemand in de praktijk ook zal overlijden, en dat als de grenswaarde net niet wordt overschreden, iemand het altijd zal overleven. 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.

# 3 Resultaten

## 3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de experimenten aan de hand van de onderzoeksvragen per techniek besproken. In iedere paragraaf zijn de resultaten van één techniek weergegeven. De resultaten op het gebied van blussing, koeling, grenswaarden voor overleefbaarheid en effect na de inzet worden eerst beschreven voor de inzet op het gebouw met één ruimte, en daarna voor het gebouw met twee ruimten, waarbij de vuurhaard niet rechtstreeks bereikt kon worden. Eerst volgt een beschrijving van het brandverloop tijdens de inzet. Vervolgens worden in figuren het temperatuurverloop op referentiethermokoppel 11 weergegeven en het temperatuurverloop in de gehele ruimte. In de daarop volgende subparagraaf wordt ingegaan op de overschrijding van de grenswaarden voor overleefbaarheid. Er wordt een tabel gepresenteerd met daarin of, en in welke mate, de grenswaarden zijn overschreden in de opstartfase (voor de inzet) en de inzetfase. Van de parameters waarvan de grenswaarden worden overschreden in de inzetfase, wordt vervolgens een figuur gepresenteerd. In deze figuur is met een stippellijn de grenswaarde aangegeven. De waarden worden weergegeven voor de opstart- en de inzetfase, waarbij de start van de inzetfase met een rode lijn is weergegeven. De overige grafieken zijn opgenomen in bijlage D. Na iedere inzet is vervolgens de deur 5 minuten opengezet, om een overgang naar een offensieve binneninzet te simuleren. Daarbij gaat het vooral om de veiligheid van brandweerpersoneel. Daarom wordt van deze periode de temperatuur, straling en het CO en O<sub>2</sub>-verloop beschreven<sup>22</sup>. Tenslotte worden in de laatste paragraaf van dit hoofdstuk de verschillende inzettechnieken onderling met elkaar vergeleken.

Om te bepalen of de gemeten effecten daadwerkelijk veroorzaakt worden door de verschillende inzettechnieken, is ook een nulmeting uitgevoerd (AV). Hierbij is op dezelfde wijze de vuurlast aangestoken. Op het moment dat de condities zodanig waren dat er ingezet kon worden, is bij de nulmeting niets gedaan. De deur blijft dicht en er is een uur gemeten. Voor de vergelijking van de resultaten van de verschillende inzettechnieken zijn in de vergelijking alleen de metingen van eerste 10 minuten gebruikt. De nulmeting is uitgevoerd voor inzetten in beide ruimten. Deze nulmeting is na het bereiken van de 10 minuten voortgezet, om een verkenning te doen naar de strategie voor antiventilatie. Bij antiventilatie houdt de brandweer bewust de deuren dicht, met het idee de brand te laten smoren. Deze tactiek is in Nederland niet gebruikelijk, daarom is de verkenning van deze potentiële methode opgenomen in bijlage E.

## 3.2 Nulmeting

Bij de nulmeting vindt er geen feitelijke inzet of blussing plaats. De brand is aangestoken en volgt hetzelfde proces als bij de daadwerkelijke inzetten. Het moment waarop normaal gestart wordt met de inzet, start de nulmeting (t=0). Wel kan aan de hand van de beelden

---

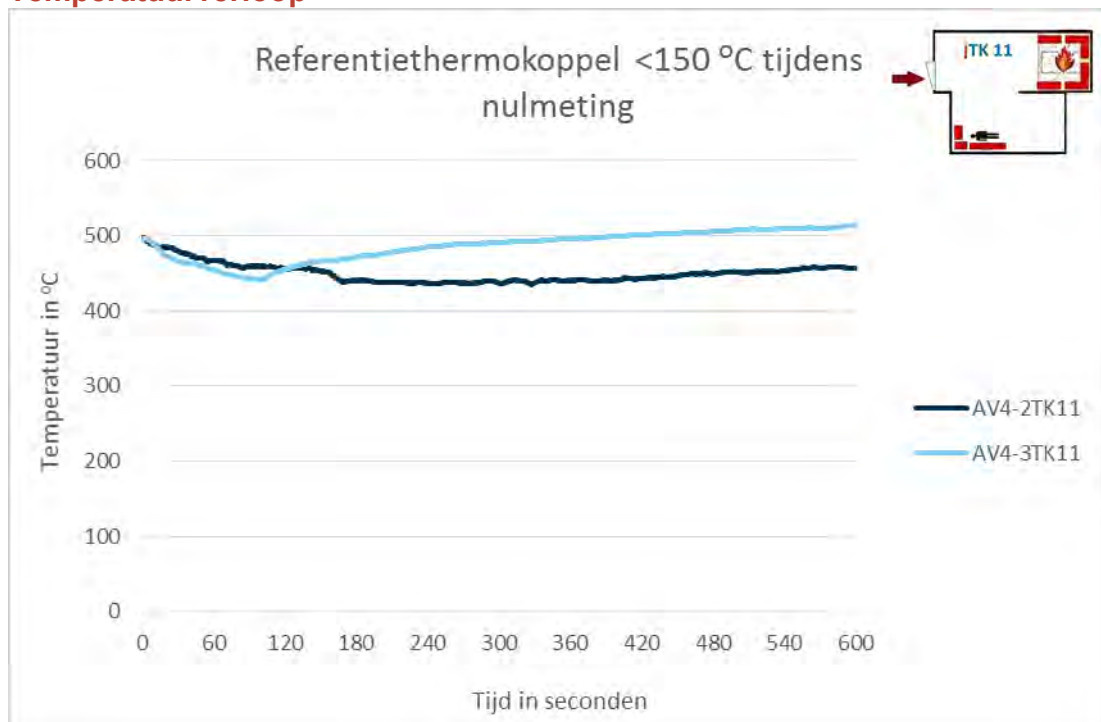
<sup>22</sup> Temperatuur en straling zijn risicofactoren in verband met mogelijke warmtestuwing of verbranding. CO is een risicofactor in verband met mogelijke ontbranding van de rookgaslaag. O<sub>2</sub> is een indicatie voor een ondergeventileerde brand, waardoor er een grotere kans op rookgasontbranding is. In verband met het dragen van ademlucht, is NO<sub>x</sub> geen risicofactor van belang tijdens de binneninzet.

die gemaakt zijn met de warmtebeeldcamera, beschreven worden hoe op zicht het brandverloop is geweest.

### 3.2.1 Nulmeting in het gebouw met één ruimte

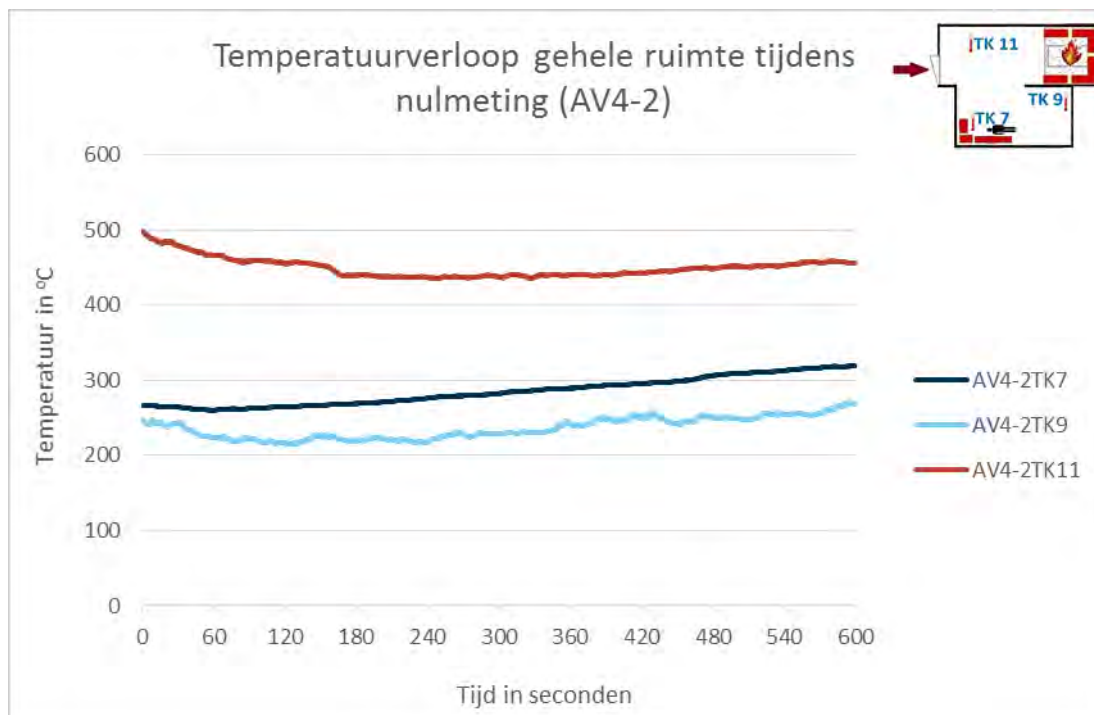
Voor de start van de nulmeting staat de hele vuurhaard in brand en zijn er veel vlammen zichtbaar die zich ook in de rooklaag boven de vuurhaard bevinden. Na het sluiten van de deur is te zien dat de vuurhaard vrij snel in intensiteit afneemt. Binnen ongeveer een halve minuut zijn de vlammen alleen nog in het onderste gedeelte van de vuurhaard zichtbaar. Daar blijft het wel branden en is op de camera een hoge temperatuur zichtbaar. Tegelijkertijd is er een verdikking en vergroting van de rooklaag te zien. De vuurhaard neemt langzaam iets af in intensiteit, maar ongeveer vijf minuten na de start van de fictieve inzet gaat de afname sneller. Er zijn op dat moment nauwelijks vlammen zichtbaar. Dit duurt ongeveer een halve minuut, waarna de onderste stapel weer tot ontbranding komt en weer meer vlammen zichtbaar zijn. Dit proces herhaalt zich nog een keer op ongeveer 7 minuten na start van de inzet, waarna de vuurhaard in de onderste stapel opnieuw groeit. Ook bij het tweede experiment staat voorafgaand aan de start van de fictieve inzet de hele vuurhaard in brand en zijn er veel en grote vlammen te zien. Ook nu daalt de vuurhaard in intensiteit zodra de deur wordt gesloten. Opnieuw blijft de vuurhaard alleen in het onderste gedeelte branden, waar ook relatief kleine vlammen zichtbaar blijven. Dit keer blijft de brand onderin de vuurhaard redelijk stabiel en breidt zelfs wat verder uit. Dit komt deels doordat de stapel met pallets instort en er daardoor meer brandstof onderin de vuurhaard terecht komt. Over het algemeen blijft het redelijk stabiel branden tot aan het eind van de inzet.

### Temperatuurverloop

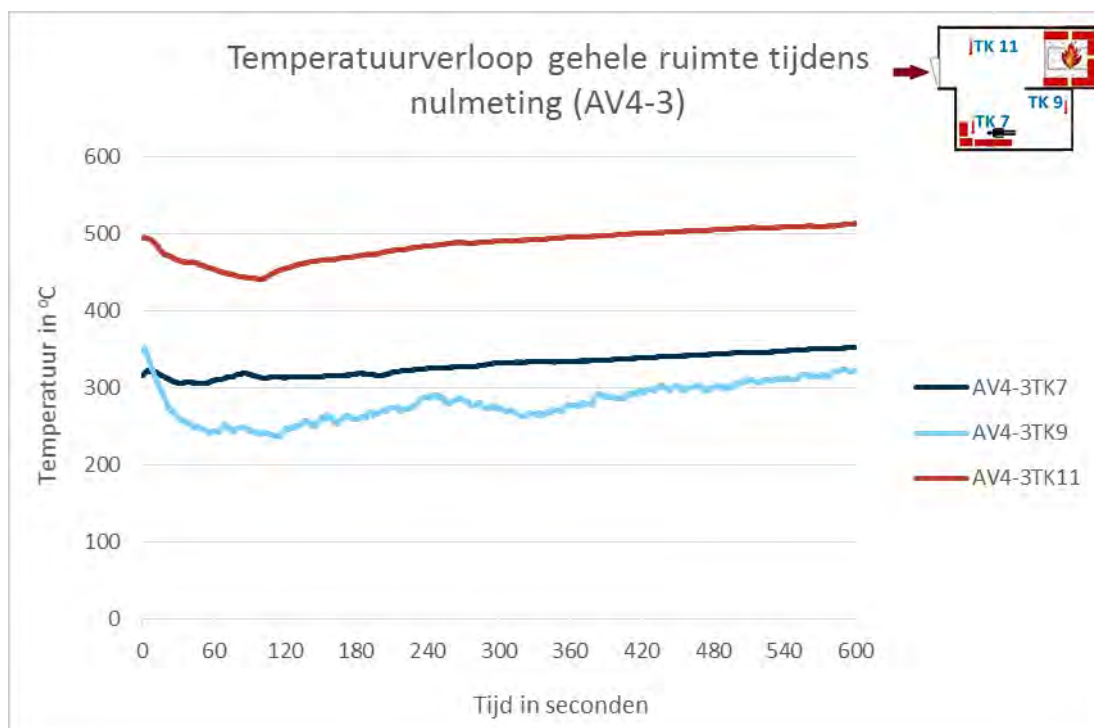


Figuur 3-1. Temperatuurverloop op referentiethermokoppel 11 tijdens de nulmeting in een gebouw met een ruimte gedurende de eerste 10 minuten

In figuur 3-1 is te zien wat er gebeurt als op het moment dat normaal de offensieve buiteninzet start, de deur gesloten blijft. Deze nulmeting is nodig om het effect van de technieken te kunnen bepalen. Te zien is dat de temperatuur op 1.80 meter min of meer stabiel blijft, waarbij in eerste instantie de temperatuur licht daalt en na circa 2-3 minuten weer licht stijgt tot ongeveer de starttemperatuur.



Figuur 3-2. Temperatuurverloop op alle thermokoppels tijdens de nulmeting in een gebouw met een ruimte (AV4-2)



Figuur 3-3. Temperatuurverloop op alle thermokoppels tijdens de nulmeting in een gebouw met een ruimte (AV4-3)

### Samengevat

In de nulmeting blijft de temperatuur min of meer stabiel, waarbij direct nadat normaal de inzet zou zijn gestart er sprake is van een zeer lichte afname. Na circa 2-3 minuten neemt de temperatuur weer iets toe en stijgt tot ongeveer de starttemperatuur.

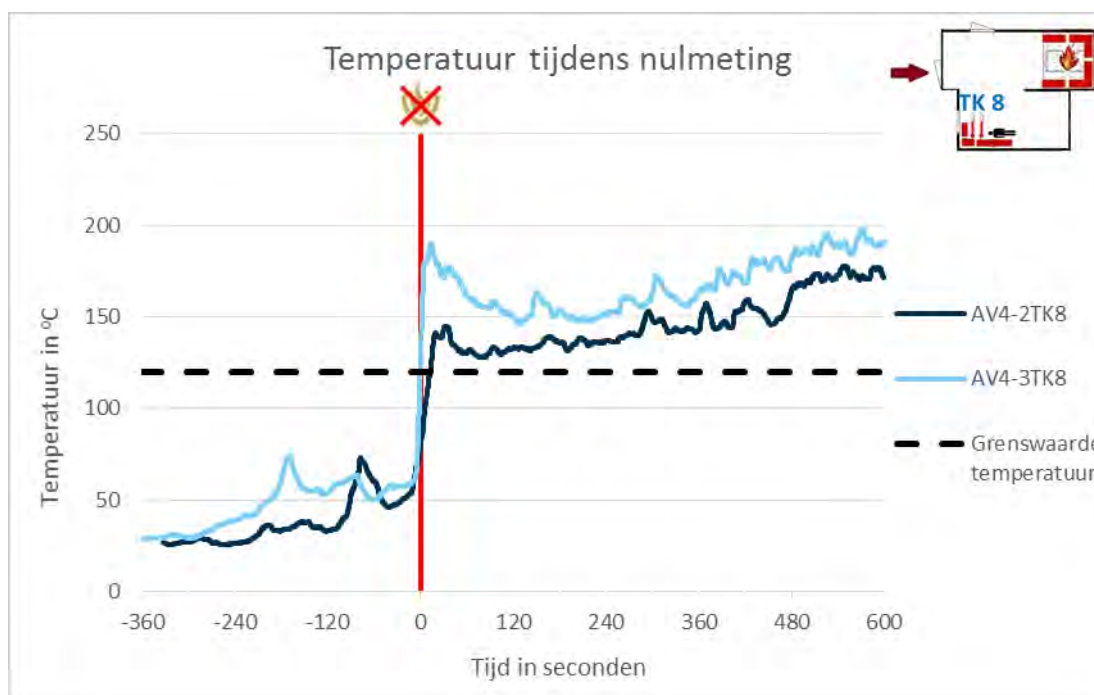
## Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid

Als gekeken wordt naar de overschrijding van de grenswaarden voor overleefbaarheid in de nulmeting, is in tabel 3-1 te zien dat de grenswaarden voor temperatuur (°C), straling, koolmonoxide (CO) en gedeeltelijk die van zuurstof (O<sub>2</sub>) worden overschreden. De grenswaarden voor stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>) worden niet overschreden.

**Tabel 3-1. Overschrijding van grenswaarden voor overleefbaarheid**  
(O = opstartfase, I = inzetfase)

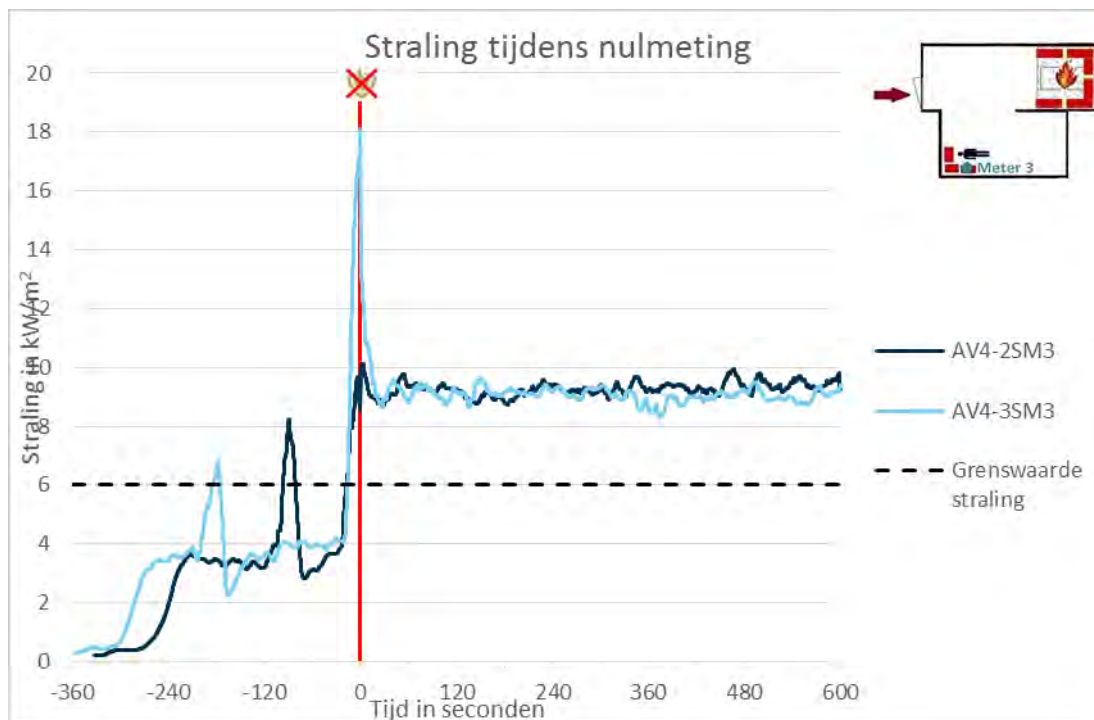
Slachtoffer	Grens	Temperatuur in °C		Straling in kW/m <sup>2</sup>		CO in ppm		O <sub>2</sub> in %		NO <sub>x</sub> in ppm	
		AV 4-2	AV 4-3	AV 4-2	AV 4-3	AV 4-2	AV 4-3	AV 4-2	AV 4-3	AV 4-2	AV 4-3
3	Grenswaarde overschreden?	Ja (I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O)	Nee	Nee

In figuur 3-4 is te zien dat de temperatuur boven de grenswaarde voor overleefbaarheid komt. Met een rode lijn is aangegeven wanneer normaal gesproken de inzet gestart zou zijn.



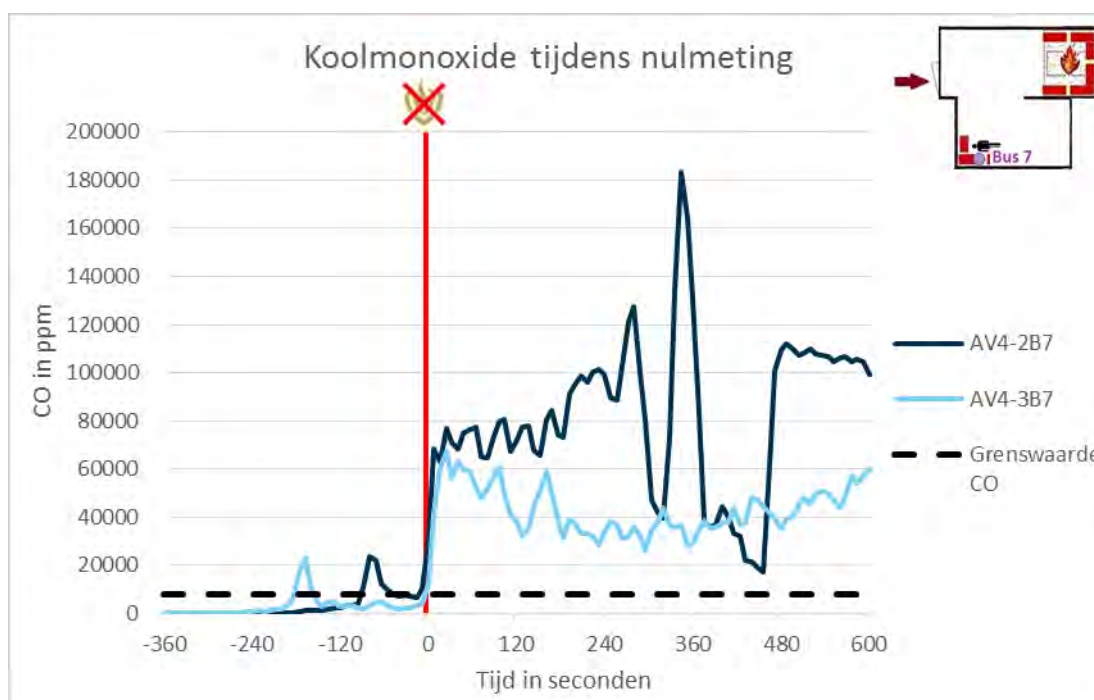
**Figuur 3-4. Temperatuurverloop op slachtofferniveau tijdens nulmeting in gebouw met 1 ruimte**

De straling komt in de nulmeting boven de grenswaarde, waarbij de straling in de brandruimte sterk piekt op het moment wanneer normaal gesproken de inzet zou starten. Zie figuur 3-5. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat de rookgaslaag als gevolg van de sluiting van de deur zakt, waardoor de straling op slachtofferniveau toeneemt.



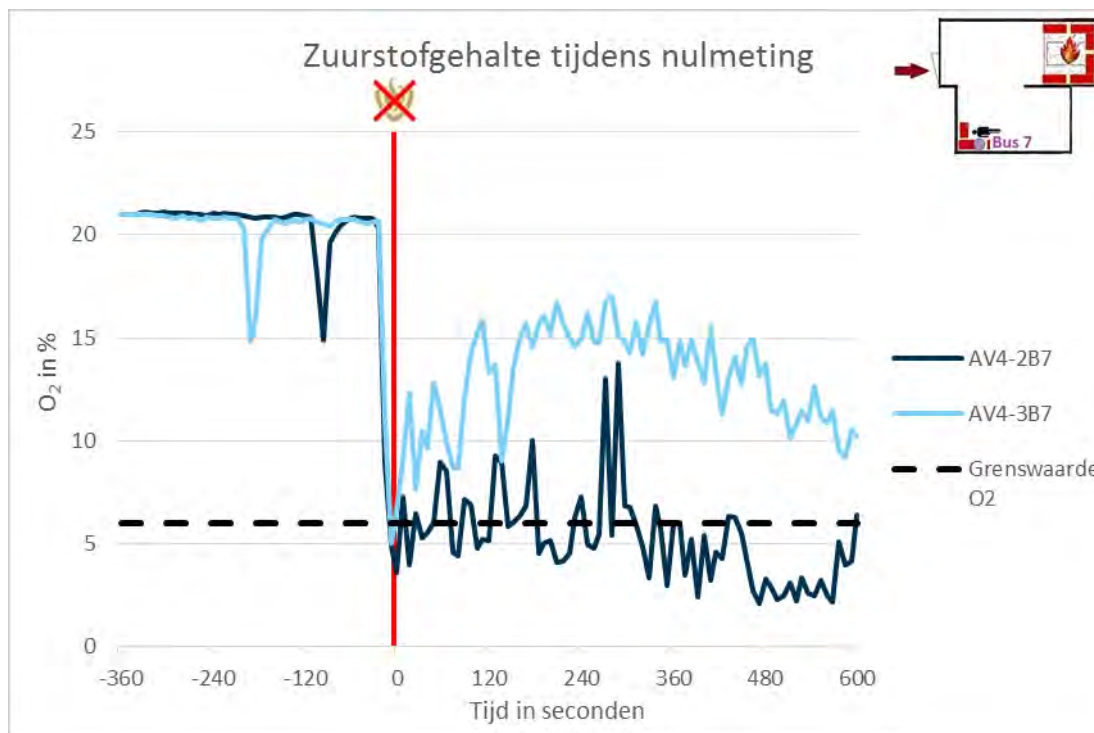
**Figuur 3-5. Straling op slachtofferniveau tijdens nulmeting in gebouw met 1 ruimte**

De grenswaarden voor CO worden overschreden in de periode dat normaal gesproken de inzet zou hebben plaatsgevonden, zie figuur 3-6.



**Figuur 3-6. Concentratie CO op slachtofferniveau tijdens nulmeting in gebouw met 1 ruimte**

In figuur 3-7 is te zien dat het O<sub>2</sub>-percentage op het moment dat de inzet normaal gesproken zou starten, bij één van de twee experimenten gedurende langere tijd de grenswaarde overschrijft.



Figuur 3-7. O<sub>2</sub>-gehalte op slachtofferniveau tijdens nulmeting in gebouw met 1 ruimte

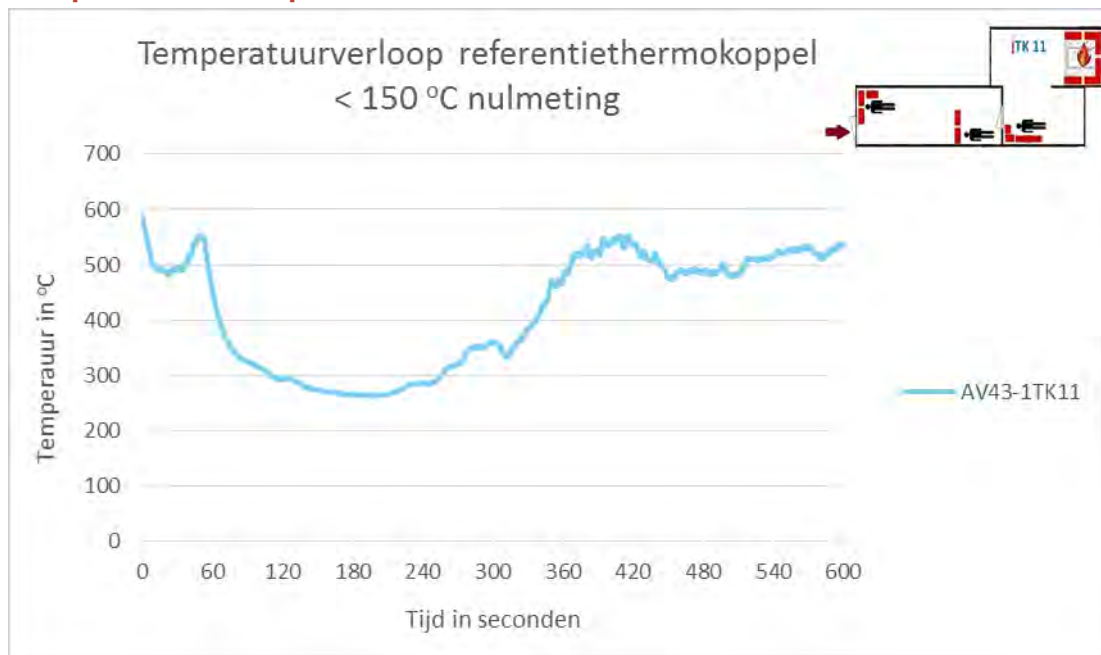
### Samengevat

Het blijkt dat tijdens de nulmeting in een gebouw met 1 ruimte de grenswaarden voor temperatuur, straling, CO en O<sub>2</sub> (in één van de twee experimenten) op slachtofferniveau worden overschreden. Voor O<sub>2</sub> (in één van twee experimenten) en NO<sub>x</sub> wordt in de nulmeting de grenswaarde niet overschreden.

### 3.2.2 Nulmeting in het gebouw met twee ruimten

Op het moment dat de nulmeting start, wordt de toegangsdeur van het pand gesloten. Op dat moment staat de vuurhaard volledig in brand en zijn grote vlammen te zien. De intensiteit loopt na start voorzichtig terug en na ongeveer een halve minuut is goed te zien dat de vuurhaard een stuk minder hard brandt. Na een minuut beperken deze vlammen zich tot onder- en middenin de vuurhaard en nemen ze in hoogte af. De intensiteit loopt in de daaropvolgende minuten nog wat verder terug. Na drie minuten is te zien dat de vuurhaard weer langzaam begint te groeien en na 4 minuten zijn ook bovenin de vuurhaard weer een aantal vlammen te zien. De vuurhaard ontwikkelt zich in de daaropvolgende minuten weer verder, waarbij vooral het linker gedeelte van de vuurhaard brandt en vlammen laat zien. Het rechtergedeelte van de vuurhaard blijft in het verdere verloop van de brand wat achterwege.

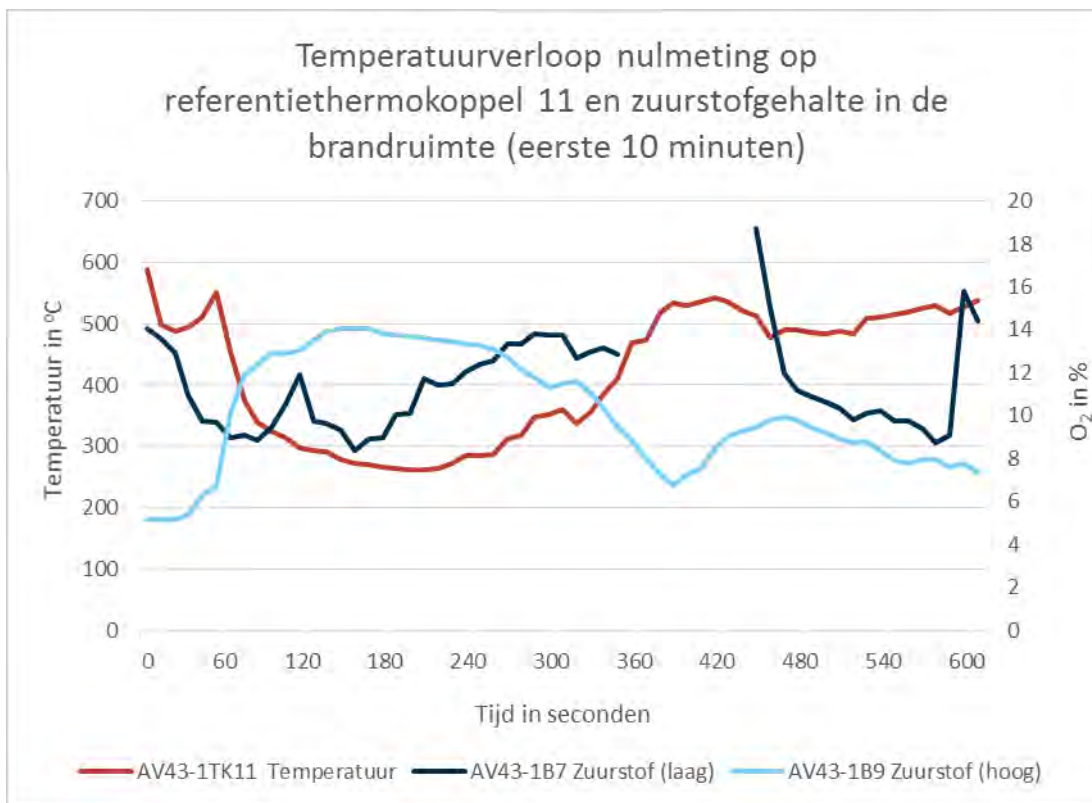
## Temperatuurverloop



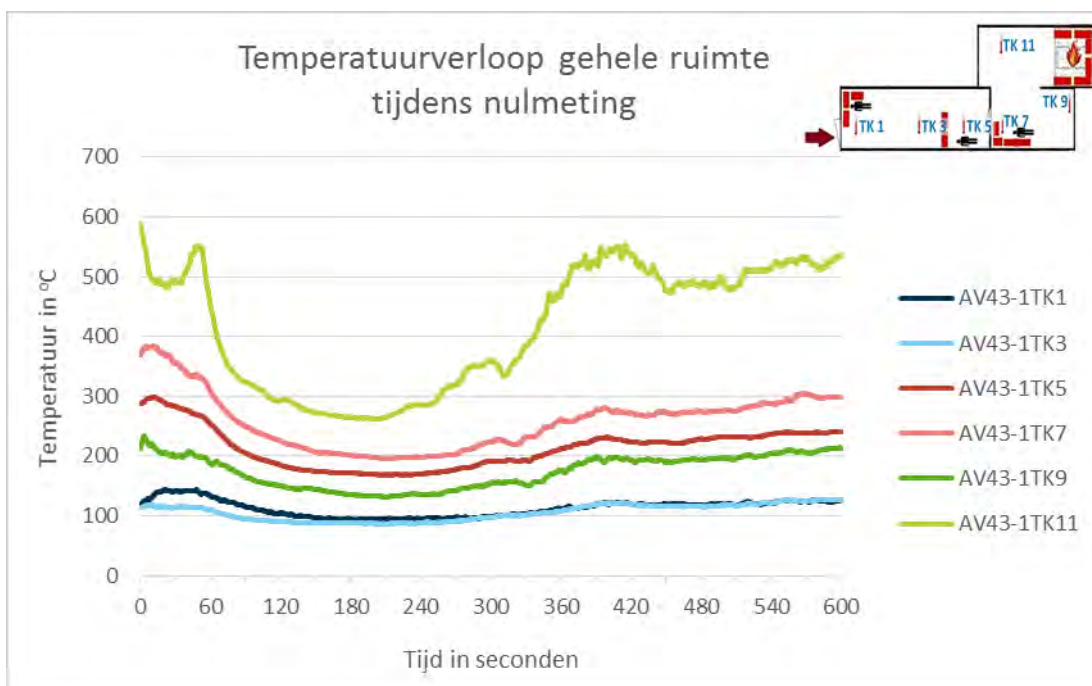
**Figuur 3-8. Temperatuurverloop op referentiethermokoppel 11 tijdens nulmeting in gebouw met twee ruimten**

In figuur 3-8 is te zien wat er gebeurt als op het moment dat normaal de offensieve buiteninzet start, de deur gesloten blijft. Deze nulmeting is nodig om het effect van de technieken te kunnen bepalen. Te zien is dat de temperatuur in eerste instantie daalt tot onder de 300 °C en na circa 4 minuten weer stijgt tot ongeveer de starttemperatuur. Een verklaring hiervoor kan gevonden worden in het O<sub>2</sub>-percentage. In figuur 3-9 is te zien dat het O<sub>2</sub>-percentage op het moment dat de inzet normaal gesproken zou starten laag is (bijna 6%). Vermoedelijk als gevolg hiervan tempert de brand en neemt de temperatuur af. Omdat de container niet volledig luchtdicht is, en de brand minder O<sub>2</sub> verbruikt, neemt het O<sub>2</sub>-percentage weer toe. Op het moment dat het O<sub>2</sub>-percentage is toegenomen naar circa 13%, begint de brand weer toe te nemen en de temperatuur weer te stijgen. Vervolgens blijft de temperatuur licht fluctueren, maar blijft deze redelijk stabiel en neemt het O<sub>2</sub>-percentage verder af.





Figuur 3-9. Temperatuurverloop en O<sub>2</sub>-gehalte tijdens de eerste 10 minuten van de nulmeting in een gebouw met twee ruimten



Figuur 3-10. Temperatuurverloop op alle thermokoppels tijdens nulmeting in een gebouw met twee ruimten (AV43-1)

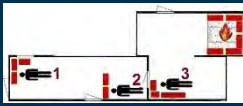
### Samengevat

In de nulmeting neemt de temperatuur direct nadat normaal de inzet zou zijn gestart, sterk af. Het O<sub>2</sub>-percentage neemt dan toe, waarna de brand na circa 4 minuten weer toeneemt en de temperatuur stijgt tot ongeveer de starttemperatuur.

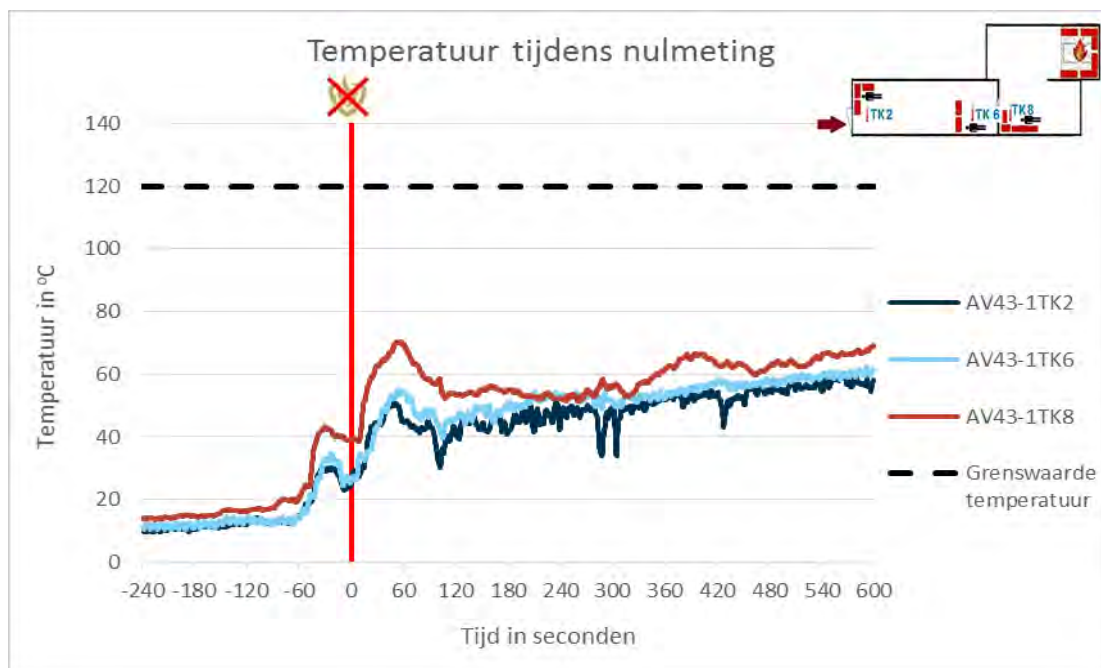
## Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid

Als gekeken wordt naar de overschrijding van de grenswaarden voor overleefbaarheid in de nulmeting, is in tabel 3-2 te zien dat de grenswaarden voor temperatuur, straling en NO<sub>x</sub> niet worden overschreden, voor geen enkel slachtoffer. De grenswaarde van CO en van O<sub>2</sub> worden wel overschreden in de nulmeting bij slachtoffer 1. Voor slachtoffer 2 en 3 wordt ook de CO grenswaarde overschreden.

Tabel 3-2. Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid (O = opstartfase, I = inzetfase)

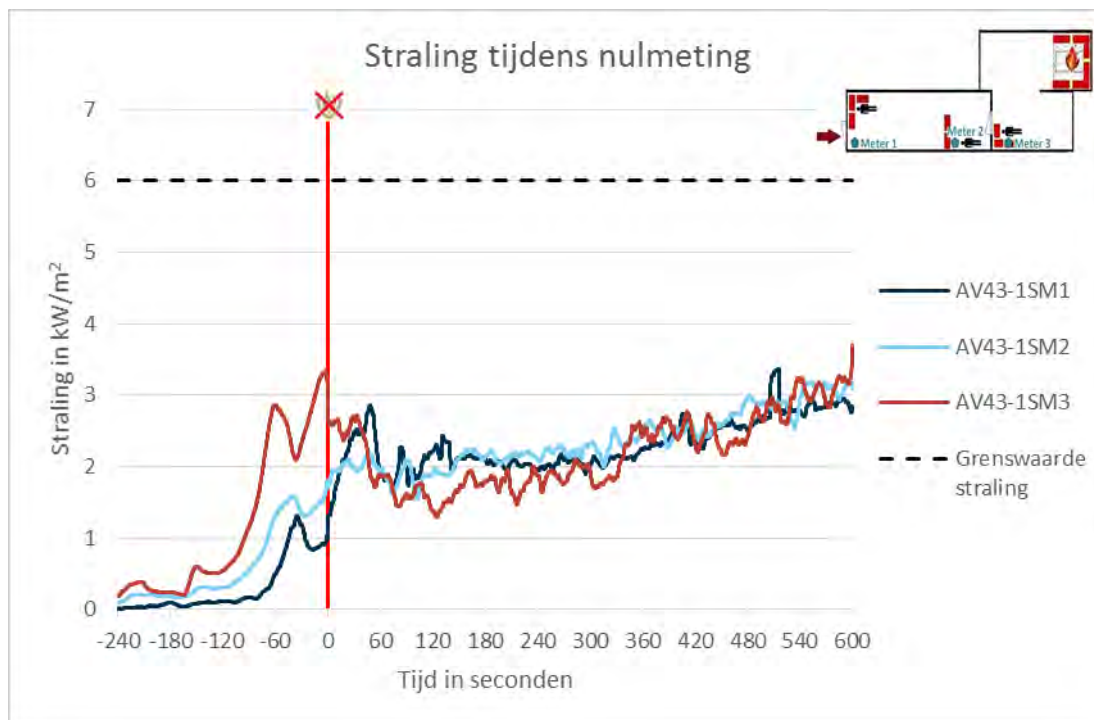
		Temperatuur in °C	Straling in kW/m <sup>2</sup>	CO in ppm	O <sub>2</sub> in %	NO <sub>x</sub> in ppm
<b>Slachtoffer 1</b>	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	<b>Ja (I)</b>	<b>Ja (I)</b>	Nee
<b>Slachtoffer 2</b>	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	<b>Ja (I)</b>	Nee	Nee
<b>Slachtoffer 3</b>	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	<b>Ja (I)</b>	Nee	Nee

In figuur 3-11 is te zien dat de temperatuur tijdens de nulmeting op slachtofferniveau voldoende laag blijft, met een maximum van circa 70 °C. Met een rode lijn is aangegeven wanneer normaalgesproken de inzet gestart zou zijn.



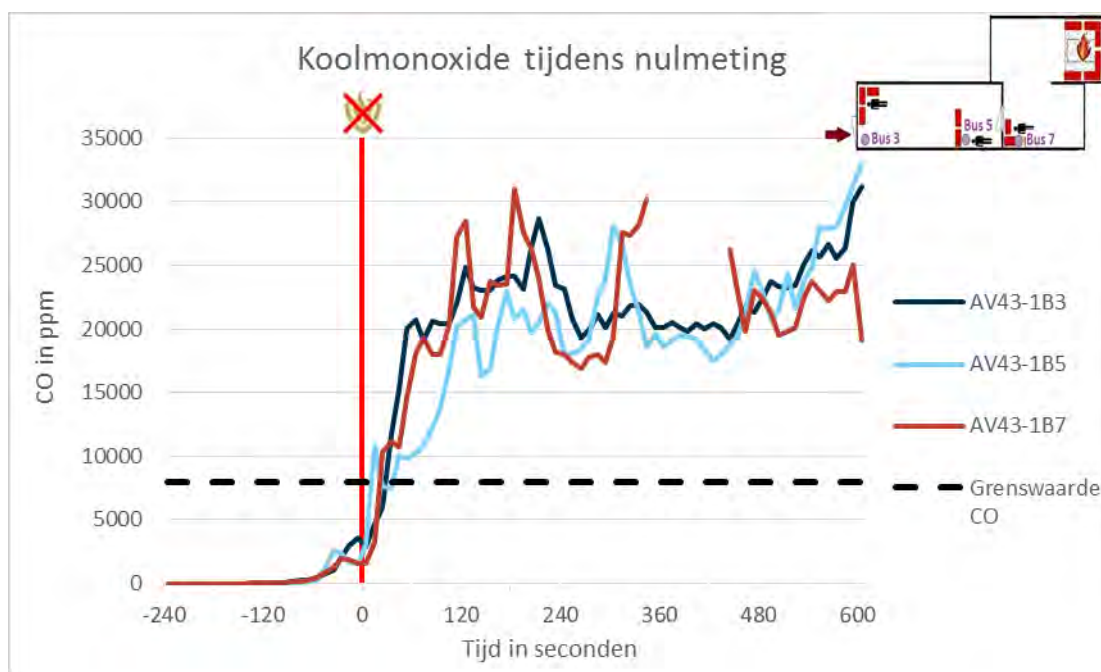
Figuur 3-11. Temperatuurverloop op slachtofferniveau tijdens nulmeting in gebouw met twee ruimten

De straling komt in de nulmeting niet boven de grenswaarde uit. Zie figuur 3-12.



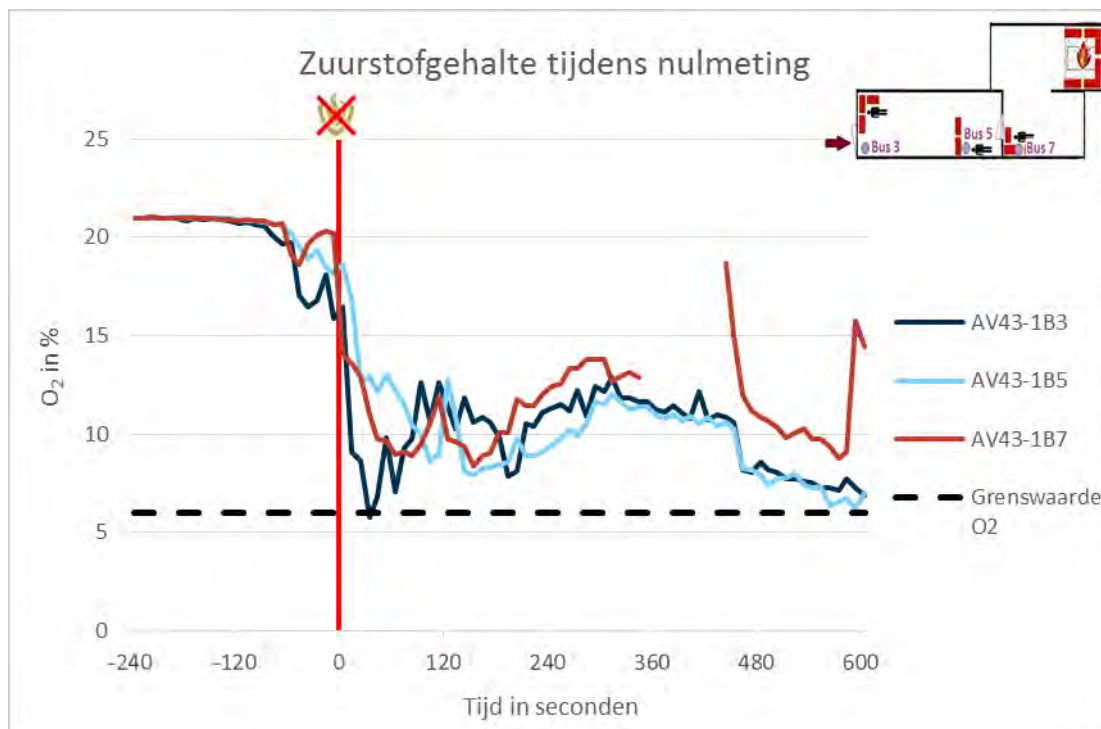
**Figuur 3-12. Straling op slachtofferniveau tijdens nulmeting in gebouw met twee ruimten**

De grenswaarden voor CO worden overschreden in de periode dat normaal gesproken de inzet zou hebben plaatsgevonden, zie figuur 3-13.



**Figuur 3-13. Concentratie CO op slachtofferniveau tijdens nulmeting in gebouw met twee ruimten**

Het O<sub>2</sub> gehalte daalt tijdens de nulmeting net voor het moment dat normaal ingezet zou gaan worden, maar komt niet lager dan de grenswaarde. Zie figuur 3-14.



Figuur 3-14. O<sub>2</sub>-gehalte op slachtofferniveau tijdens nulmeting in gebouw met twee ruimten

### Samengevat

Het blijkt dat tijdens de nulmeting de grenswaarden voor met name CO, en in beperkte mate voor straling, op slachtofferniveau worden overschreden. Voor temperatuur, O<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> wordt in de nulmeting de grenswaarde niet overschreden.

## 3.3 Coldcutter (CC)

### 3.3.1 Inzet op het gebouw met één ruimte

Bij de inzet op het gebouw met één ruimte kon de vuurhaard rechtstreeks worden benaderd.

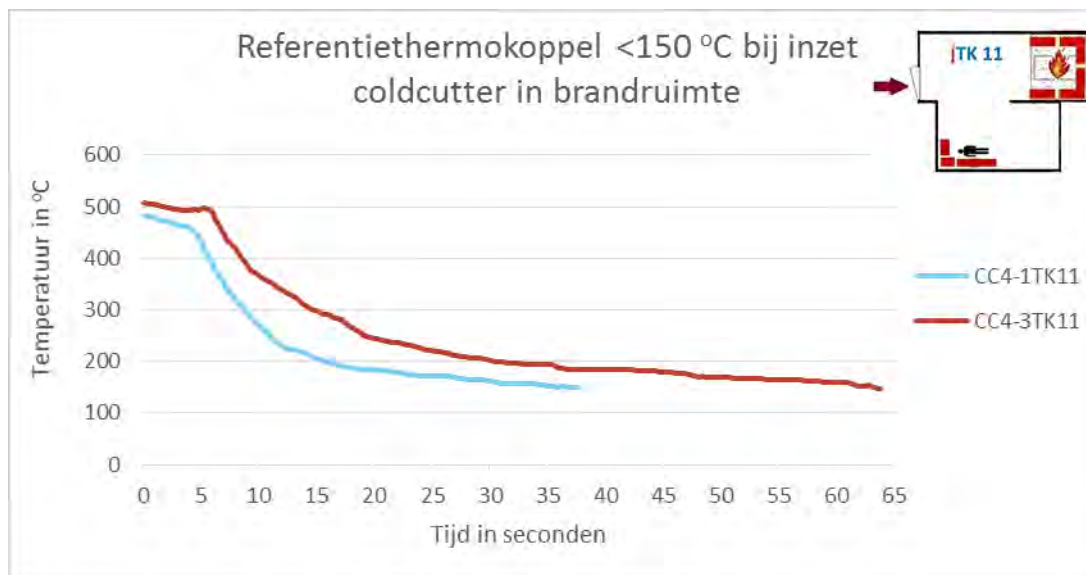
### Blussing

Op de beelden van de warmtebeeldcamera van CC4-1 is te zien dat 6 seconden na de start van de inzet geen vlammen meer zichtbaar zijn. Bij de inzet CC4-3 is dit na ongeveer 3 seconden het geval.

De CC is in deze situatie in staat bij inzet in de brandruimte een knockdown gedurende de gehele inzet te creëren. Wel blijft er sprake van een brand in het gloeistadium.

### Koeling

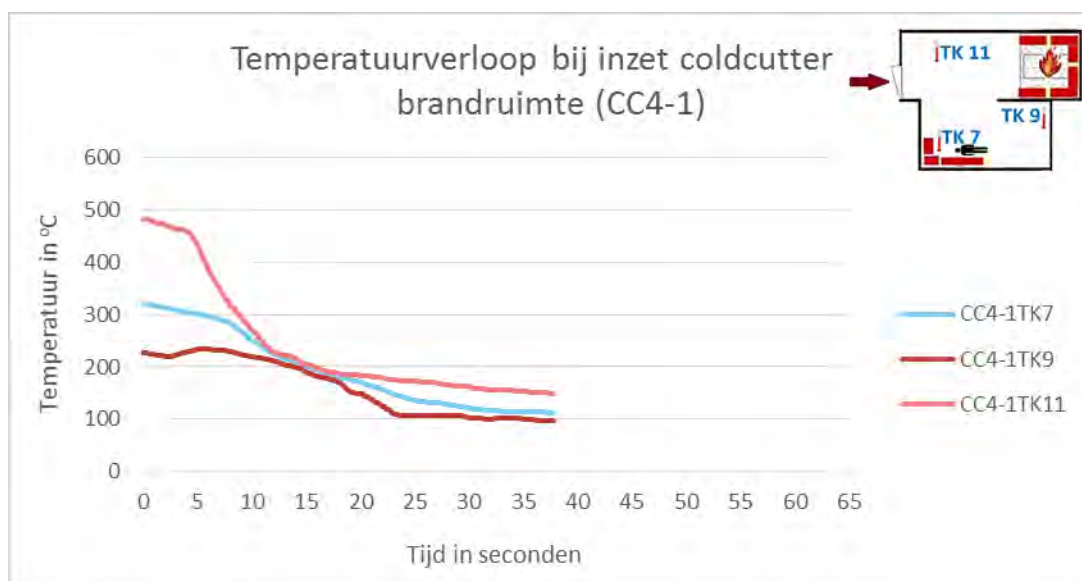
Als gekeken wordt naar de koeling van de rookgassen op referentiethermokoppel 11, dan blijkt dat de CC bij de ene inzet (CC4-1) na 37 seconden en bij de andere inzet (CC4-3) na 63 seconden de temperatuur in de brandruimte onder de grens van 150 °C bracht. Zie ook figuur 3-15.



**Figuur 3-15. Temperatuurverloop op referentiethermokoppel 11 bij inzet CC rechtstreeks in de brandruimte**

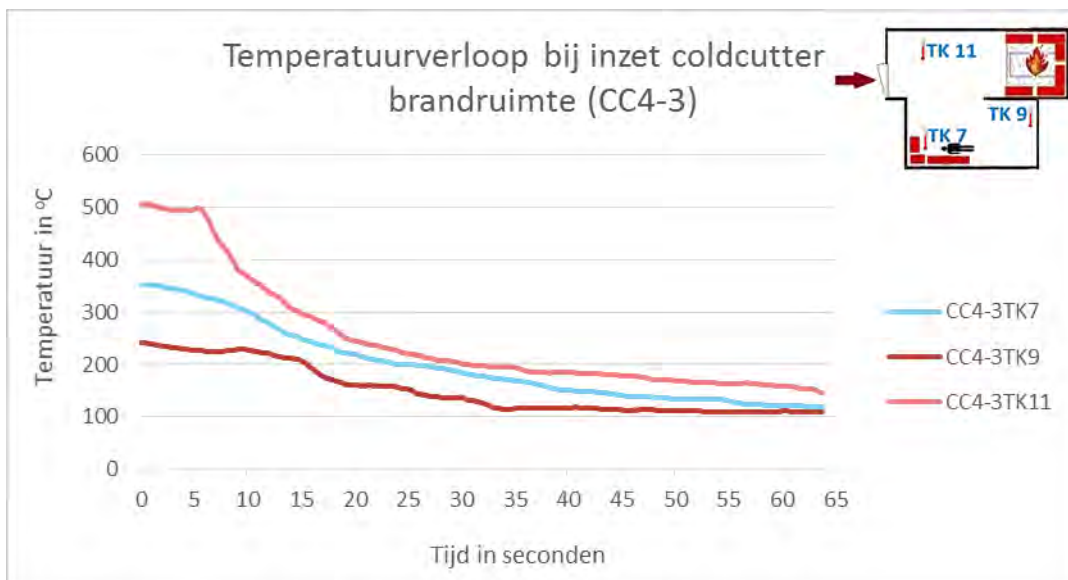
De CC is in staat binnen 37-63 seconden de temperatuur in de ruimte van circa 500 °C naar een temperatuur onder de 150 °C te brengen.

Vervolgens is gekeken naar het temperatuurverloop in de gehele brandruimte. De resultaten hiervan zijn weergegeven in figuur 3-16 en figuur 3-17. De temperatuur in de gehele ruimte bij experiment CC4-1 daalt gedurende de eerste 15 seconden het snelst bij thermokoppel 11. Daarna vlakkt de lijn van thermokoppel 11 wat af en daalt met name de temperatuur op thermokoppel 9 verder.



**Figuur 3-16: Temperatuurverloop gehele ruimte bij inzet CC rechtstreeks in de brandruimte (CC4-1)**

Bij experiment CC4-3 is een vergelijkbaar beeld te zien.



**Figuur 3-17: Temperatuurverloop gehele ruimte bij inzet CC rechtstreeks in de brandruimte (CC4-3)**

### Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid

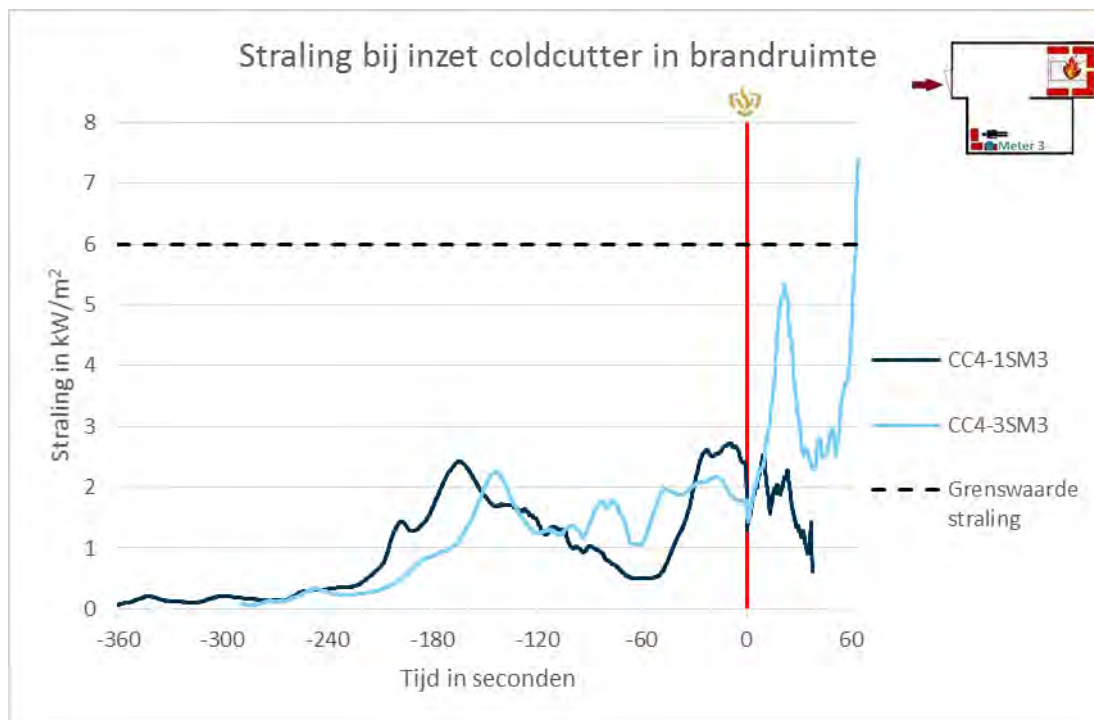
In tabel 3-3 is aangegeven of de grenswaarden voor overleefbaarheid zijn overschreden, en zo ja, of dit in de opstartfase of in de inzetfase is. Uit de tabel blijkt dat O<sub>2</sub>, temperatuur- en stikstofgrenswaarden bij inzet met de CC niet worden overschreden. Wel wordt de grenswaarde voor straling tijdens één van de twee inzetten overschreden. De grenswaarden voor CO worden zowel in de opstartfase als in de inzetfase overschreden.

**Tabel 3-3. Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid (O= opstartfase, I = inzetfase)**

Slachtoffer 3	Grenswaarde overschreden?	Temperatuur in °C		Straling in kW/m <sup>2</sup>		CO in ppm		O <sub>2</sub> in %		NO <sub>x</sub> in ppm	
		CC 4-1	CC 4-3	CC 4-1	CC 4-3	CC 4-1	CC 4-3	CC 4-1	CC 4-3	CC 4-1	CC 4-3
		Nee	Nee	Nee	Ja (I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Nee	Nee	Nee	Nee

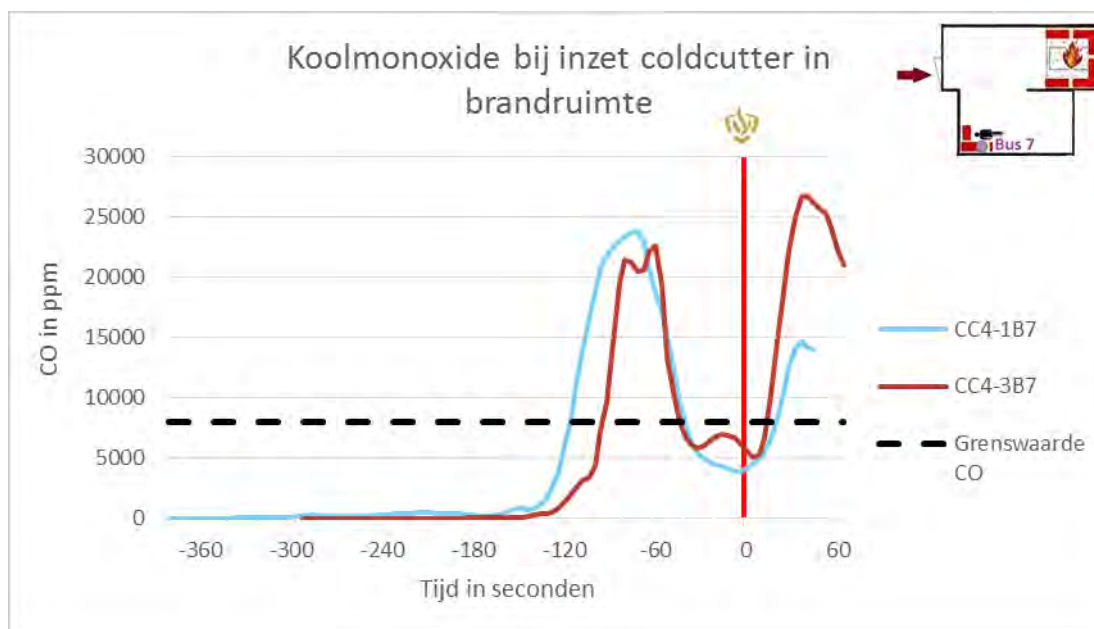
Als gekeken wordt naar de straling (figuur 3-18), is te zien dat de straling vanaf het moment van de inzet toeneemt bij experiment CC4-3 tot boven de grenswaarde. Bij CC4-1 blijft deze onder de grenswaarde.

<sup>23</sup> NO<sub>x</sub> niet gemeten tijdens CC4-1



**Figuur 3-18. Straling op slachtofferniveau bij inzet CC rechtstreeks in de brandruimte**

Ook is te zien dat de concentratie CO toeneemt vanaf het moment van inzet. Omdat ook al voorafgaand aan de inzet de CO stijgt als gevolg van het ondergeventileerd raken van de brand, is het echter onduidelijk of dit gevolg is van de inzet, of van het natuurlijk brandverloop. Als de toename het gevolg is van de inzet, kan dit 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. Zie ook figuur 3-19.



**Figuur 3-19. Concentratie CO op slachtofferniveau bij inzet CC rechtstreeks in de brandruimte**

Door een storing zijn de  $\text{NO}_x$  niet gemeten bij experiment CC4-1. Bij experiment CC4-3 is te zien dat op het moment van de inzet, het gehalte op slachtofferniveau sterk stijgt tot boven de grenswaarde.

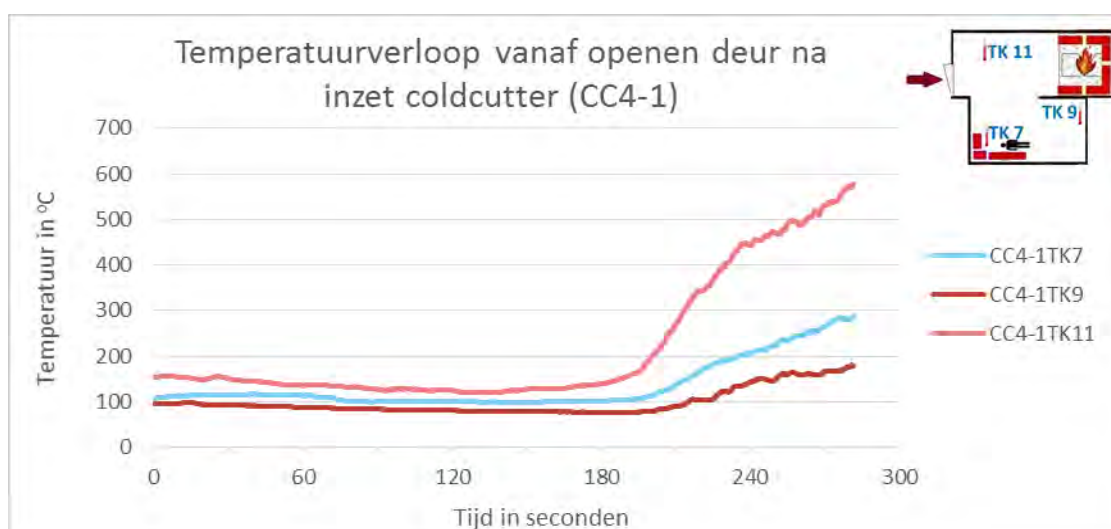
## Samengevat

Het lijkt erop dat de CC geen effect heeft op O<sub>2</sub>, temperatuur en NO<sub>x</sub> voor het slachtoffer. Wel is er een toename van straling bij één van de twee inzetten en mogelijk ook CO door de inzet van de CC op de situatie van het slachtoffer.

## 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.

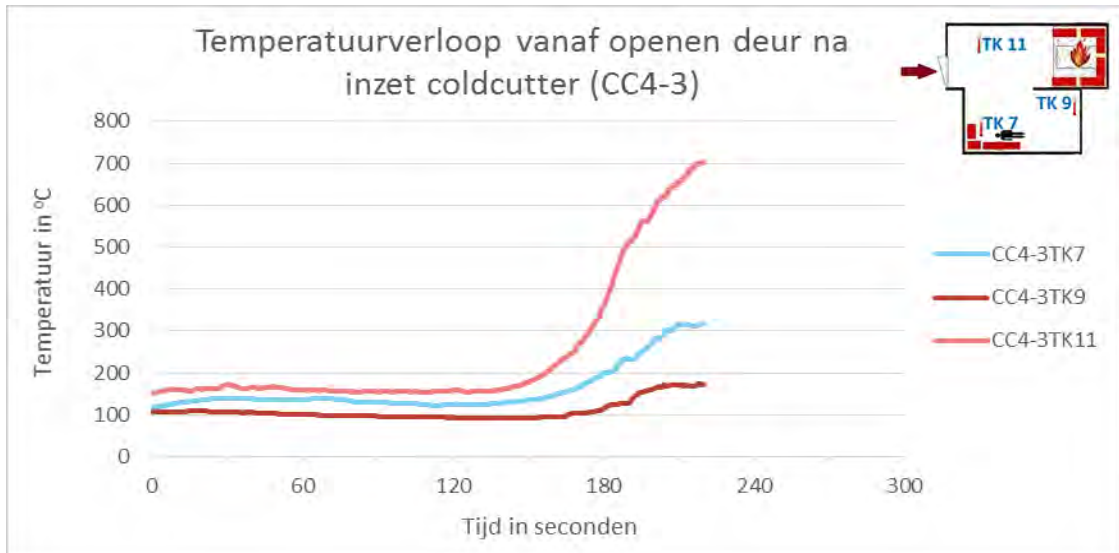
In figuur 3-20 is het verloop van de temperatuur na het openen van de deur bij experiment CC4-1<sup>24</sup> op referentiethermokoppel 11 te zien. Hieruit blijkt dat na 90 tot 120 seconden na het openen van de deur, de temperatuur weer snel oploopt, met name bovenin de ruimte dicht bij de vuurhaard. Op de warmtebeelden is te zien dat er dan sprake is van een herontsteking, vlak voor het oplopen van de temperatuur, waarbij na de herontsteking de brand vrij snel volledig tot ontwikkeling komt.



Figuur 3-20. Temperatuurverloop vanaf openen deur na inzet CC (CC4-1)

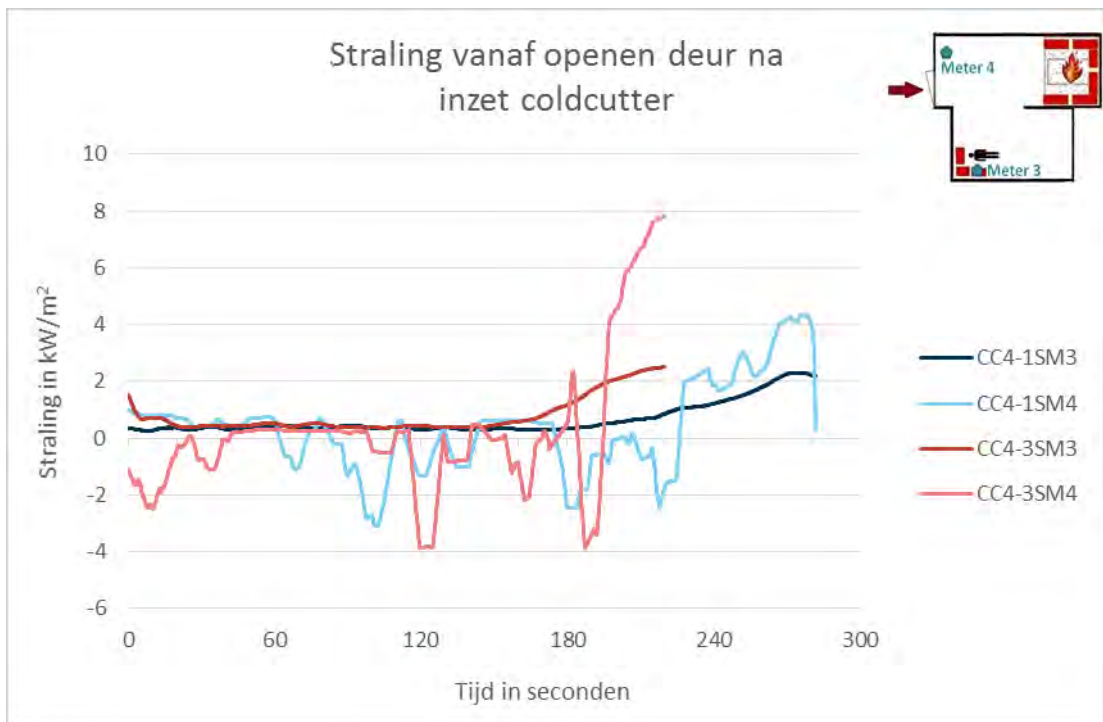
<sup>24</sup> Door een fout is het experiment iets eerder afgebroken dan de bedoeling, namelijk 5 minuten na het einde van de inzet in plaats van 5 minuten na het openen van de deur. Het is voor de hand liggend dat de temperatuur nog verder op zou lopen als de volledige tijd na het openen van de deur zou zijn gebruikt.



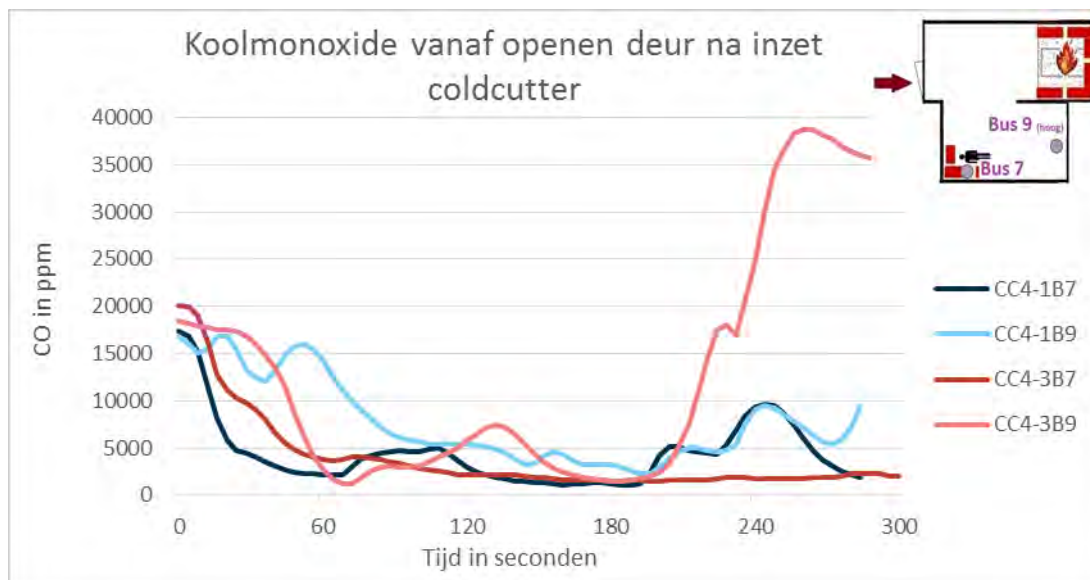


Figuur 3-21. Temperatuurverloop vanaf openen deur na inzet CC (CC4-3)

In figuur 3-21 is een vergelijkbaar beeld te zien bij CC4-3 als bij CC4-1. Wel start de temperatuurstijging (en de heroplaiing) wat eerder, namelijk ongeveer 150 seconden na het openen van de deur. In figuur 3-22 is te zien dat ook de straling vanaf het moment van heroplaiing toeneemt.

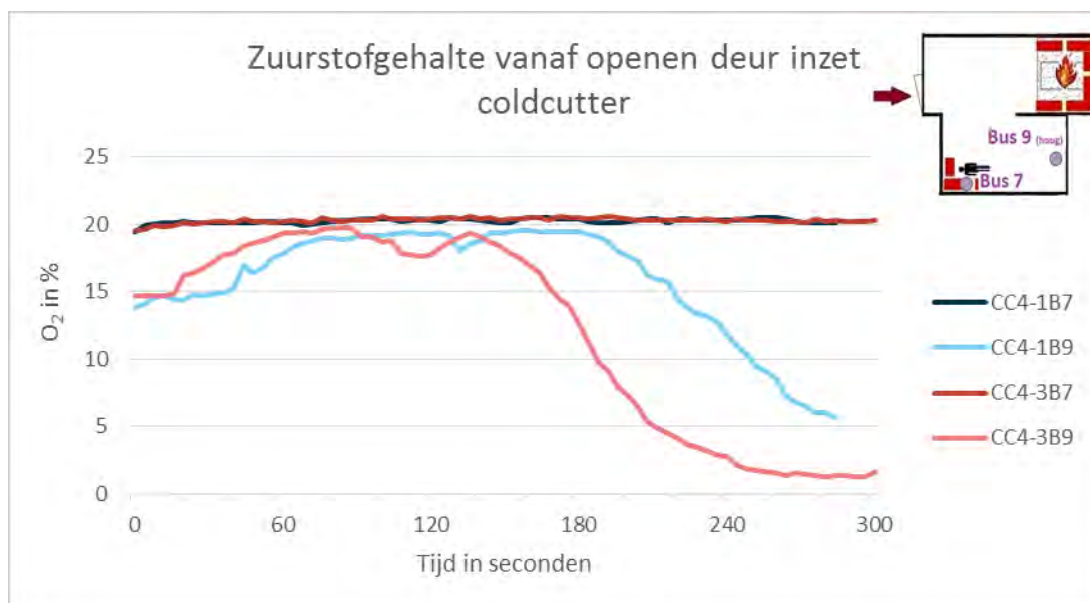


Figuur 3-22. Straling vanaf openen deur na inzet CC



**Figuur 3-23. Concentratie CO vanaf openen deur na inzet CC gemeten op 50 cm hoogte (B7) en in de rookgaslaag (B9)**

In figuur 3-23 is te zien dat het CO-gehalte in eerste instantie bij het openen van de deur daalt. Met name bij experiment CC4-3 stijgt het CO-gehalte na ongeveer 180 seconden in korte tijd aan het plafond van ruim 1000 ppm naar ruim 40.000 ppm. In figuur 3-24 is te zien dat op hetzelfde moment het O<sub>2</sub>-percentage daalt tot circa 1%. Deze daling is ook te zien aan het plafond bij experiment CC4-1 (bus 9). Door de heroplaging wordt O<sub>2</sub> door de brand verbruikt en wordt CO afgegeven door de brand als gevolg van onvolledige verbranding.



**Figuur 3-24. O<sub>2</sub>-gehalte vanaf openen deur na inzet CC gemeten op 50 cm hoogte (B7) en in de rookgaslaag (B9)**

### Samengevat

Na de inzet van de CC en het openen van de deur, is er onder de proefomstandigheden in principe voldoende tijd om over te schakelen op een offensieve binneninzet: 2,5 tot 3 minuten na het openen van de deur herontsteekt de brand. Wel nemen straling, temperatuur en CO na herontsteking binnen 30 seconden snel toe, en neemt de O<sub>2</sub> af tot onder de 5%. De temperatuur bereikt binnen deze 30 seconden na de herontsteking een waarde van 500-700 °C en de straling neemt toe van minder dan 1 kW/m<sup>2</sup> tot 8 kW/m<sup>2</sup>. Het is dus van belang om na de inzet met de CC snel de vuurhaard definitief te bereiken en af te blussen.

### 3.3.2 Inzet op het gebouw met twee ruimten

Na de inzet op de brandruimte, is de volgende experiment met een nieuwe brand uitgevoerd, namelijk met een inzet op het gebouw met twee ruimten waarbij de vuurhaard niet rechtstreeks kon worden bereikt. De resultaten worden hieronder beschreven.

#### Blussing

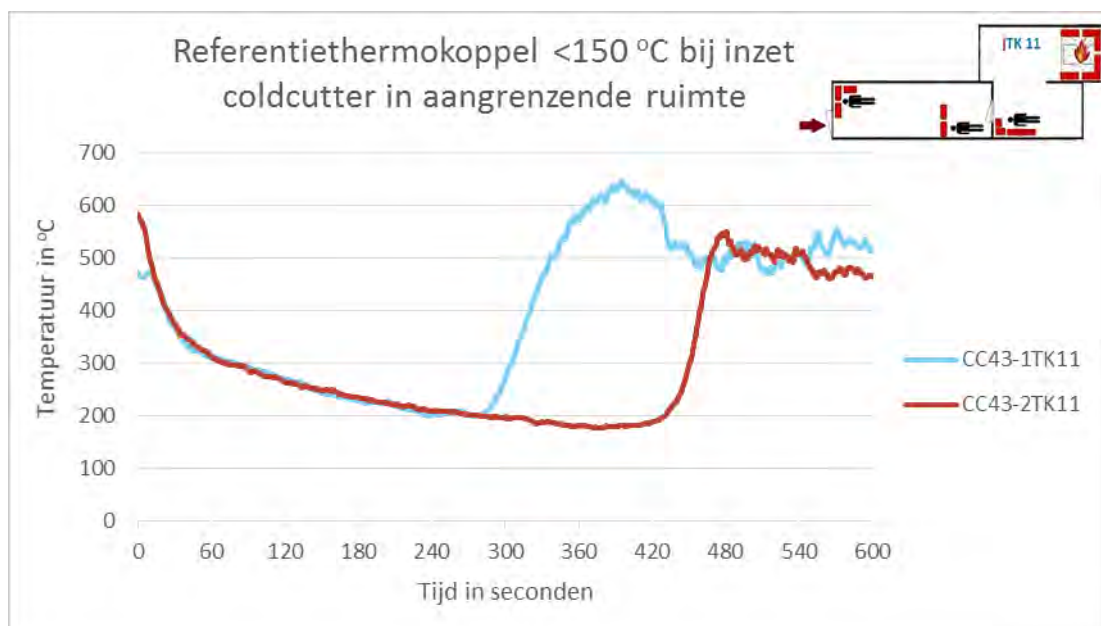
Bij de inzet op het gebouw met twee ruimten is op de warmtebeelden bij beide inzetten te zien, dat vrijwel vanaf het moment van de inzet de intensiteit van de vuurhaard terugloopt. Zowel bij CC43-1 als bij CC43-2 is na ongeveer 20 seconden sprake van een knockdown. Onderin de stapel blijven nog wel enkele 'hotspots' over. Ongeveer 3 minuten (CC43-1) en 5 minuten (CC43-2) na start van de inzet zijn hier weer de eerste vlammen te zien. In de daaropvolgende minuten breidt hiervandaan de vuurhaard zich verder uit. Ongeveer vijf minuten na het begin van de inzet komt de vuurhaard ook aan de bovenkant opnieuw tot ontbranding. Uiteindelijk staat de gehele stapel weer in brand.

#### Samengevat

De inzet van de CC in de aangrenzende ruimte zorgt aan het begin van de inzet voor een knockdown. Toch laat in beide experimenten het vuur gedurende de inzet van de CC weer op tot de hele vuurhaard weer in brand staat.

#### Koeling

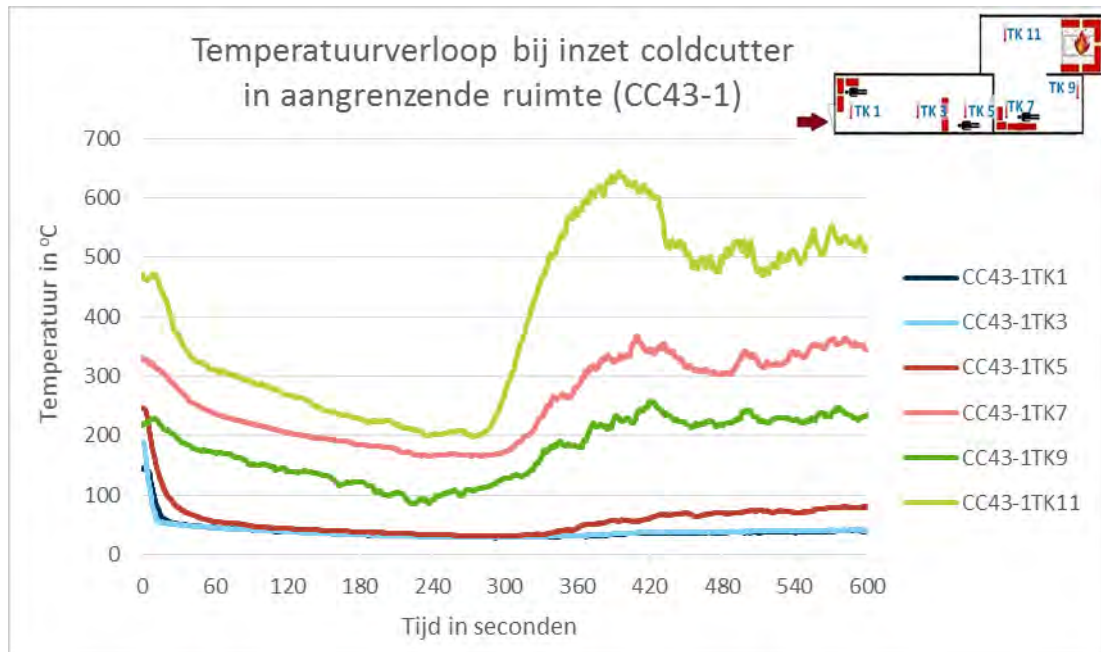
Als gekeken wordt naar de koeling van de rookgassen, dan blijkt dat de CC bij de twee inzetten op het gebouw met twee ruimten niet in staat is de temperatuur in de brandruimte onder de grens van 150 °C te brengen. In eerste instantie is er bij beide inzetten sprake van een daling, tot ongeveer 200 °C, waarna er een sterke stijging van de temperatuur is, tot 500-600 °C. Bij CC43-2 is dit wat later dan bij CC43-1. Mogelijk heeft hierin de iets hogere starttemperatuur een rol gespeeld. Zie ook figuur 3-25.



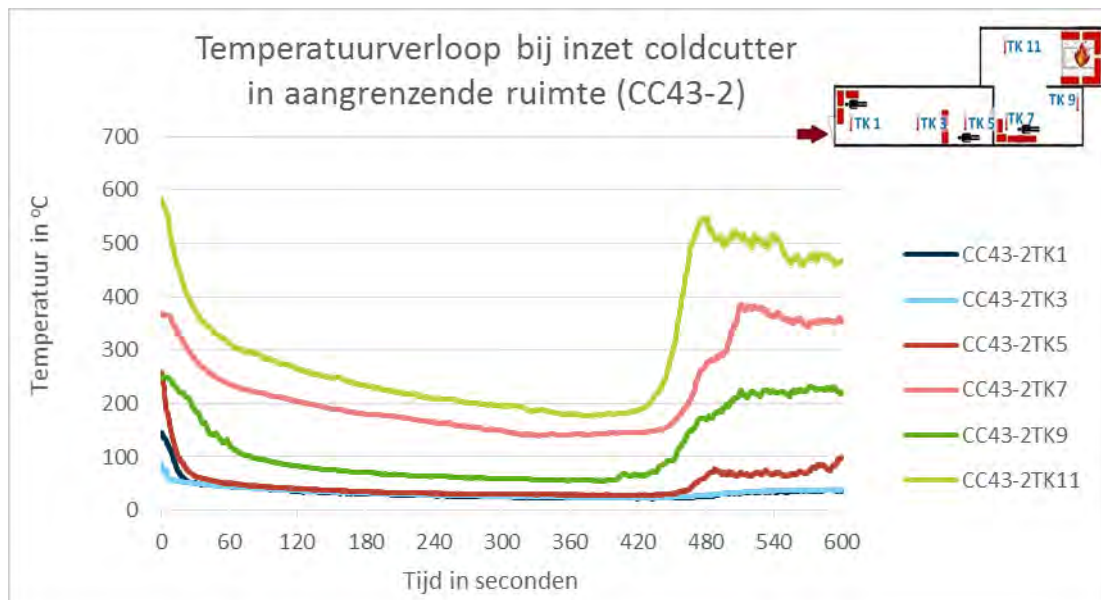
**Figuur 3-25. Temperatuurverloop op referentiethermokoppel 11 bij inzet CC op gebouw met twee ruimten**

Het is opvallend dat gedurende de inzet met de CC de temperatuur weer sterk toeneemt, tot gelijk aan of boven de starttemperatuur. De CC is gedurende 10 minuten continue ingezet. Als het temperatuurverloop echter naast de nulmeting gelegd wordt, is te zien dat de grafiek een vergelijkbaar patroon geeft. Met andere woorden, de inzet van de CC heeft nauwelijks effect op de temperatuur in de brandruimte ten opzichte van de situatie zonder inzet.

Bij een nadere analyse van de temperaturen in de rest van de ruimte, is te zien dat deze temperatuurverhoging in alle gedeelten van de brandruimte zichtbaar is, waarbij de sterkste stijging in de buurt van de vuurhaard zichtbaar is. Verder is te zien dat in de aangrenzende ruimte de temperatuur bij de start van de inzet sterk daalt, en vervolgens laag blijft. Een uitzondering hierop is thermokoppel 5, welke zich bevindt in de aangrenzende ruimte ter hoogte van de deur naar de brandruimte. Daar is een beperkte stijging te zien. Het verschil in temperatuur aan weerszijden van de open deur naar de brandruimte (thermokoppel 5 en 7 is ruim 300 °C, terwijl deze thermokoppels zich in een open verbinding op circa 2 meter van elkaar bevinden. Zie ook onderstaande figuren 3-27 en 3-28.



Figuur 3-26. Temperatuurverloop gehele ruimte bij inzet CC op gebouw met twee ruimten (CC43-1)



Figuur 3-27. Temperatuurverloop gehele ruimte bij inzet CC op gebouw met twee ruimten (CC43-2)

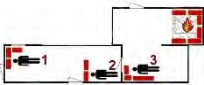
## Samengevat

De inzet met de CC geeft bij de inzet in het gebouw met twee ruimten in eerste instantie overal een sterke temperatuurdaling. Na circa 4 tot 7 minuten neemt tijdens de inzet de temperatuur in de brandruimte weer toe, tot ongeveer de starttemperatuur. In de aangrenzende ruimte wordt wel een snelle en blijvende koeling bereikt waarbij de temperatuur onder de 150 °C komt.

## Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid

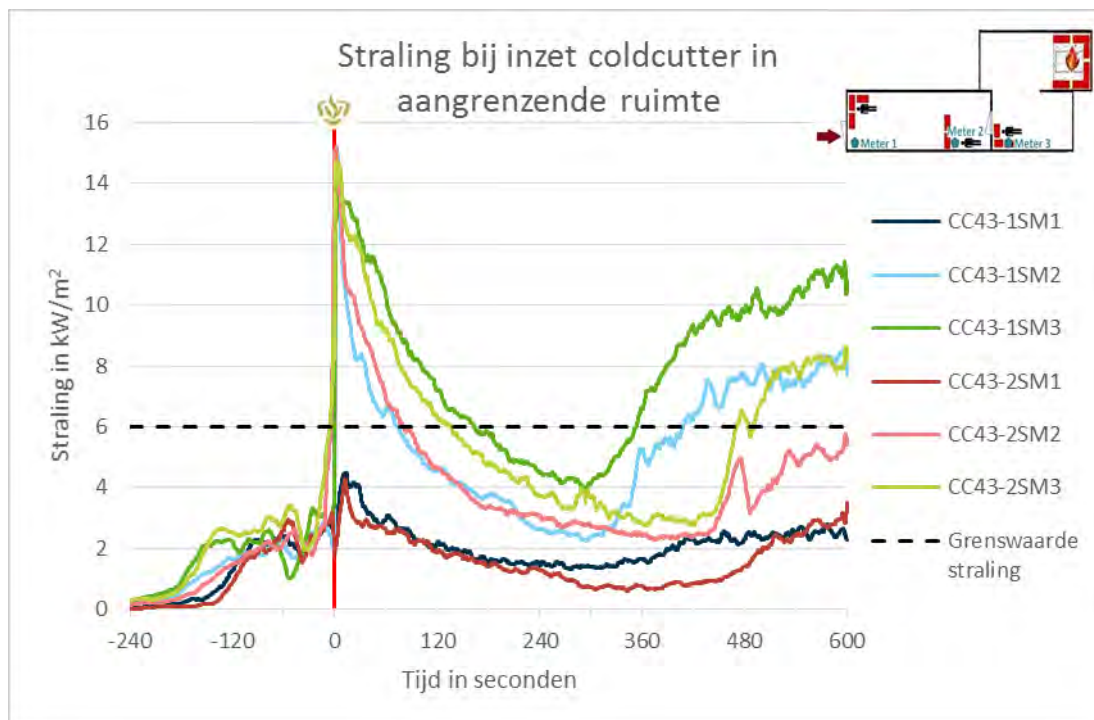
Wat betreft de parameters voor overleefbaarheid voor de drie slachtoffers (slachtoffer 1 in het begin van de aangrenzende ruimte, slachtoffer 2 in de aangrenzende ruimte aan de zijde van de brandruimte, slachtoffer 3 in de brandruimte), blijkt dat de grenswaarden voor temperatuur voor geen enkel slachtoffer worden overschreden. De overige grenswaarden voor overleefbaarheid worden bij één of meerdere slachtoffers overschreden. Bij CO zijn de grenswaarden voor alle slachtoffers in alle experimenten overschreden, en bij straling voor slachtoffer 2 en 3. Zie ook tabel 3-4.

Tabel 3-4. Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid  
(O = opstartfase, I = inzetfase)

		Temperatuur in °C		Straling in kW/m <sup>2</sup>		CO in ppm		O <sub>2</sub> in %		NO <sub>x</sub> in ppm	
		CC 43-1	CC 43-2	CC 43-1	CC 43-2	CC 43-1	CC 43-2	CC 43-1	CC 43-2	CC 43-1	CC 43-2
<b>Slachtoffer 1</b>	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja (O) <sup>25</sup>	Ja (O+I)	Nee <sup>25</sup>	Ja (O)	Nee <sup>25</sup>	Nee
<b>Slachtoffer 2</b>	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Ja (I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O)	Ja (I)	Ja (I)
<b>Slachtoffer 3</b>	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Ja (I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Nee	Nee	Nee	Nee

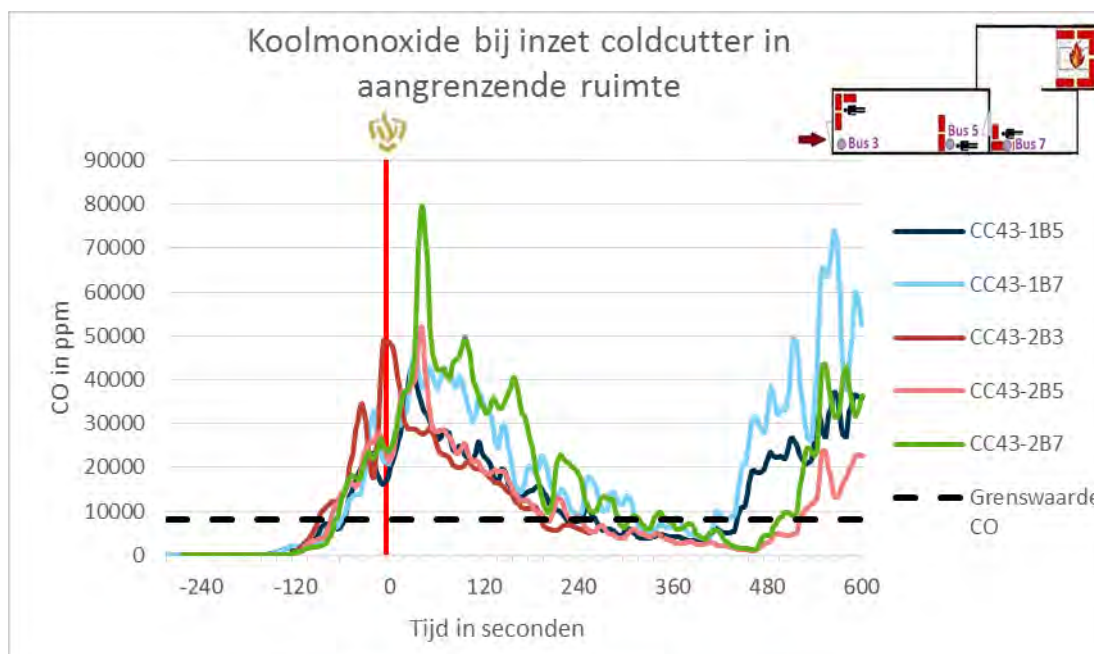
Als wordt ingezoomd op straling, is duidelijk te zien dat de straling bij slachtoffer 2 en 3 sterk toeneemt precies op het moment dat de CC wordt ingezet. Slachtoffer 2 en 3 krijgen te maken met een ruime overschrijding van de grenswaarden tot circa 15 kW/m<sup>2</sup>. Dit is veel hoger dan in de nulmeting. Bij het slachtoffer direct achter de inzetlocatie van de CC (slachtoffer 1) overschrijdt de straling de grenswaarde niet. Zie ook figuur 3-28.

<sup>25</sup> Tijdens de inzetfase niet gemeten in verband met het uitvallen van de meetapparatuur.



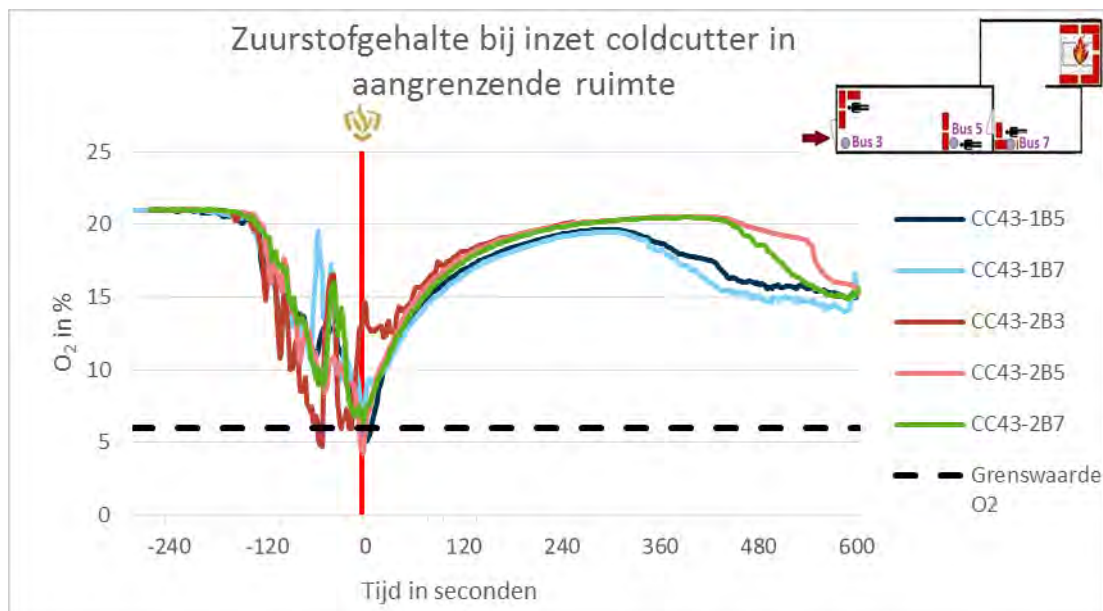
**Figuur 3-28. Straling op slachtofferniveau bij inzet CC op gebouw met twee ruimten**

Als gekeken wordt naar de CO-concentratie op slachtofferniveau, dan valt op dat er voorafgaand aan de inzet al sprake is van een stijgende lijn. Deze lijn daalt vlakbij de inzetplaats direct na de inzet. In de (buurt van de) brandruimte is er eerst nog sprake van een piek, waarna het COgehalte snel daalt. Zie figuur 3-29.



**Figuur 3-29. Concentratie CO op slachtofferniveau bij inzet CC op gebouw met twee ruimten**

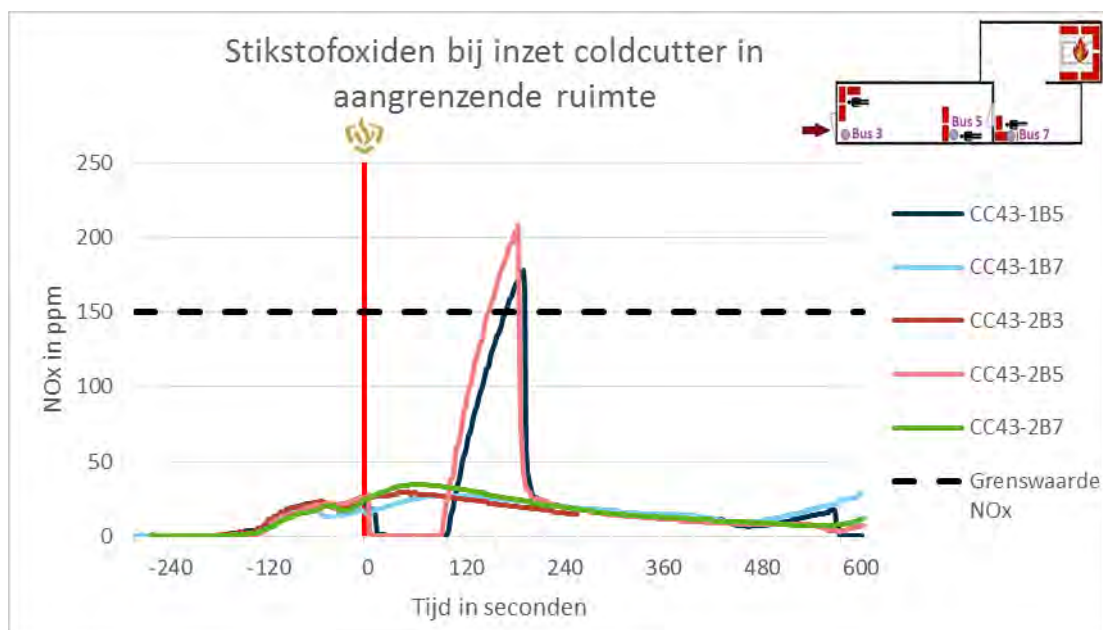
Het O<sub>2</sub>percentage neemt duidelijk toe, zowel in de brandruimte als in de aangrenzende ruimte. Zie ook figuur 3-30. Dit beeld komt enigszins overeen met de nulmeting (zie paragraaf 3.2), maar is sterker.



Figuur 3-30. O<sub>2</sub> gehalte op slachtofferniveau bij inzet CC op gebouw met twee ruimten

Bij de inzet op het gebouw met twee ruimten is er enige tijd na de start van de inzet een duidelijke piek te zien in het gemeten gehalte aan NO<sub>x</sub> op slachtofferniveau bij slachtoffer 2 (deze bevindt zich in de aangrenzende ruimte aan de zijde van de brandruimte). Dit zou verklaard kunnen worden doordat de rookgassen als gevolg van turbulentie van boven naar het slachtofferniveau worden verplaatst.

Voor de slachtoffers in de brandruimte en vlak naast de inzet van de CC is een dergelijke piek niet te zien. Mogelijk kan dit verklaard worden door het stromingspatroon, waarbij in de hoek bij bus 5 een ophoping van rookgassen plaats kan vinden.



Figuur 3-31. NO<sub>x</sub> op slachtofferniveau bij inzet CC op gebouw met twee ruimten

## Conclusie

Bij de inzet van de CC op het gebouw met twee ruimten neemt de straling zowel in de brandruimte als in de aangrenzende ruimte aan de zijde van de brandruimte in eerste instantie toe. Zeer waarschijnlijk is dit het gevolg van de inzet. De straling neemt sterk toe tot boven de grenswaarden voor de slachtoffers, met uitzondering van het slachtoffer die het dichtst bij de inzetlocatie ligt. Voor CO is het beeld onduidelijk, omdat niet met zekerheid kan worden gesteld of de piek en/of de daarop volgende daling het gevolg is van de inzet. Het O<sub>2</sub>-gehalte neemt op alle locaties door de inzet met de CC toe. Voor NO<sub>x</sub> wordt tijdens de inzet een piek gezien, maar uitsluitend voor slachtoffer 2.

## Effect na inzet

In de onderzoeksofzet is uitgegaan van het openen van een deur na een succesvolle offensieve buiteninzet, om zo het effect van het overschakelen naar een binneninzet te simuleren. Aangezien de CC in dit scenario niet in staat is gebleken een succesvolle offensieve buiteninzet te doen (binnen de experimentopzet de temperatuur <150 °C brengen), zijn de resultaten van het openen van de deur uitsluitend als achtergrondinformatie opgenomen in bijlage D (paragraaf 1).

## 3.4 Nevelkogel (NK)

### 3.4.1 Inzet op het gebouw met één ruimte

#### Blussing

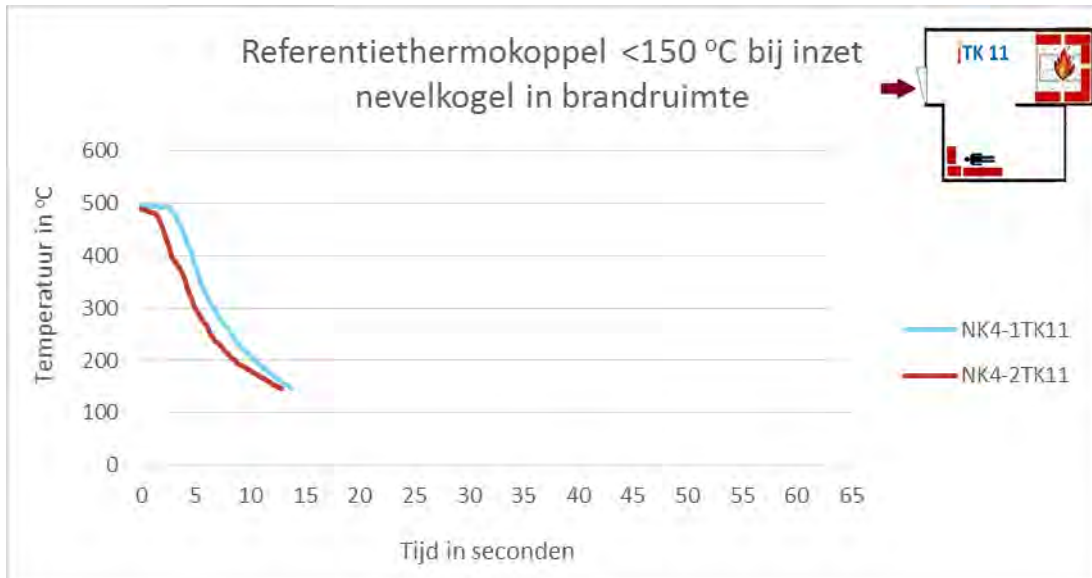
Door de grote werveling die veroorzaakt wordt tijdens de inzet van de NK is lastig waar te nemen wanneer de vlammen weg zijn. Er is na 5 (NK4-1) of 6 seconden (NK4-2) sprake van een knockdown. Onderin de stapel blijft na inzet nog een gloeistadium zichtbaar. De brand laait niet meer op.

De NK is bij de inzet in de brandruimte in staat een snelle knockdown te creëren, die de gehele inzet in stand blijft. Wel blijven er gloeiverschijnselen aanwezig.

#### Koeling

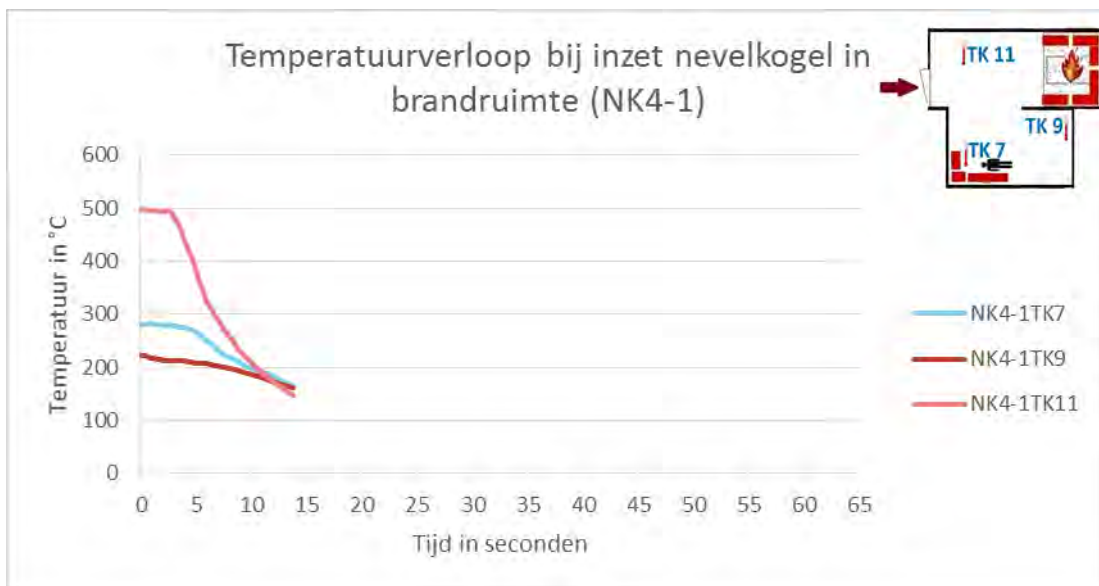
Als gekeken wordt naar de koeling van de rookgassen, dan blijkt dat de NK bij de ene inzet na 14 seconden en bij de andere inzet na 13 seconden de temperatuur in de brandruimte onder de grens van 150 °C brengt. Zie ook figuur 3-32.



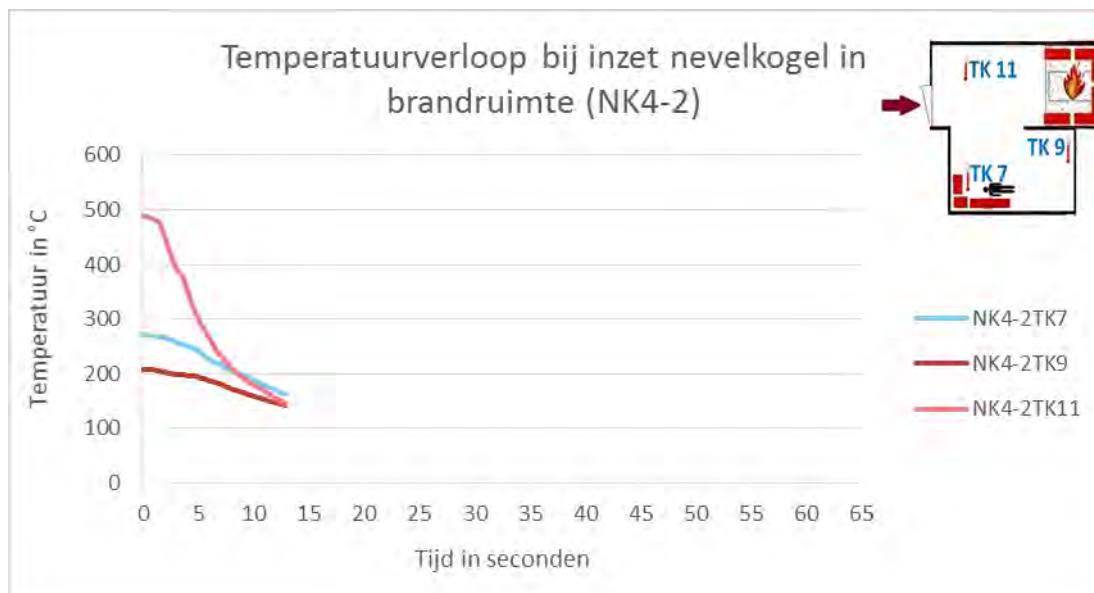


**Figuur 3-32. Temperatuurverloop op referentiethermokoppel 11 bij inzet NK rechtstreeks in de brandruimte**

De daling is ook te zien in de andere delen van de brandruimte, zowel bij de eerste als het tweede experiment met de NK. Daarbij is te zien dat de thermokoppels met de hoogste starttemperatuur de grootste daling laten zien, waarbij alle drie de thermokoppels aan het eind van het experiment ongeveer dezelfde waarde aangeven. Zie figuur 3-33 en figuur 3-34.



**Figuur 3-33. Temperatuurverloop gehele ruimte bij inzet NK rechtstreeks in de brandruimte (NK4-1)**



**Figuur 3-34. Temperatuurverloop gehele ruimte bij inzet NK rechtstreeks in de brandruimte (NK4-2)**

De NK is binnen 15 seconden in staat de temperatuur in de brandruimte terug te brengen tot onder 150 °C. De daling is overal in de ruimte zichtbaar.

### Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid

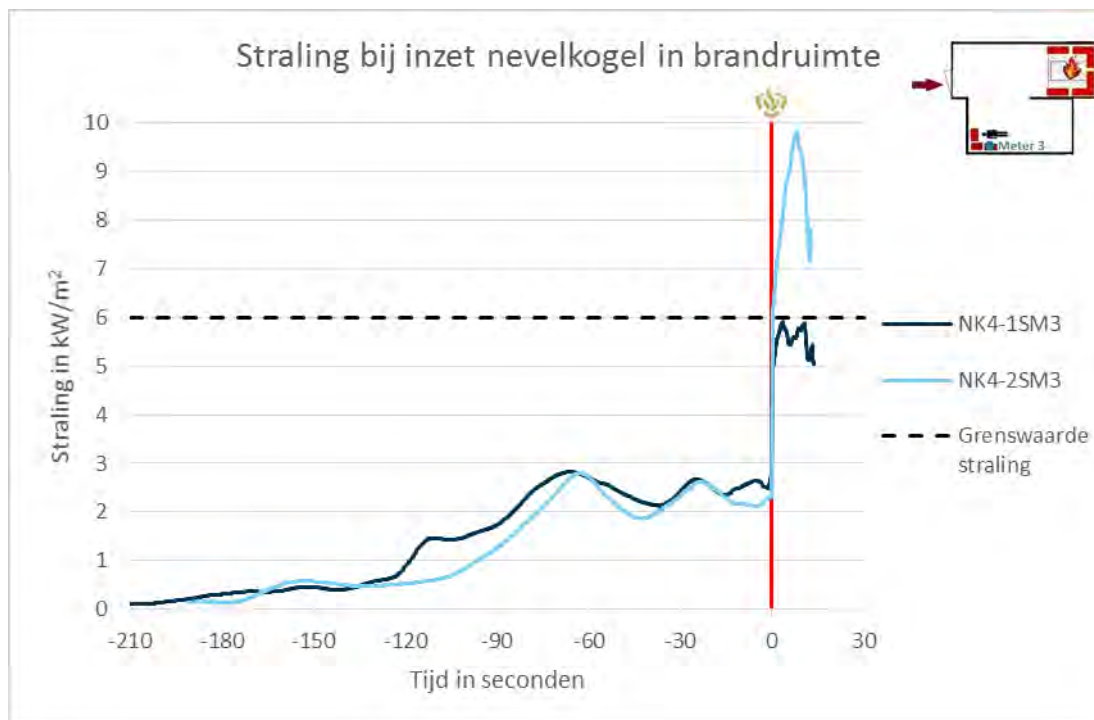
In tabel 3-5 is aangegeven of de grenswaarden voor overleefbaarheid zijn overschreden, en zo ja, of dit in de opstartfase of in de inzetfase is. Uit de tabel blijkt dat O<sub>2</sub>, temperatuur- en stikstofgrenswaarden bij inzet met de NK niet worden overschreden. Wel worden de grenswaarden voor straling (bij één van de twee experimenten) en CO (beide experimenten) in de inzetfase overschreden.

**Tabel 3-5. Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid**

	Temperatuur in °C	Straling in kW/m <sup>2</sup>		CO in ppm		O <sub>2</sub> in %		NO <sub>x</sub> in ppm			
		NK 4-1	NK 4-2	NK 4-1	NK 4-2	NK 4-1	NK 4-2	NK 4-1	NK 4-2		
<b>Slachtoffer 3</b>	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Ja (I)	Ja (I)	Ja (I)	Nee	Nee	Nee	Nee

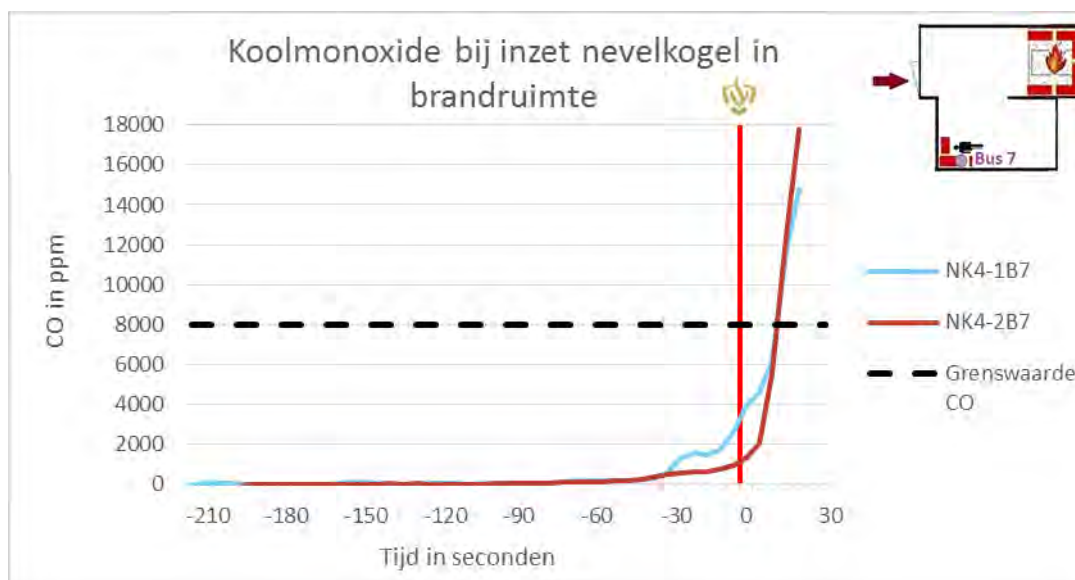
Als gekeken wordt naar de straling, dan is duidelijk te zien dat de stijging van de straling tegelijkertijd plaatsvindt met de start van de brandweerinzet. De straling piekt vanaf de inzet bij NK4-2 tot ongeveer 10 kW/m<sup>2</sup> en overschrijdt daarmee ruim de grenswaarde van 6 kW/m<sup>2</sup>.

Bij NK4-1 is ook een stijging te zien, maar niet tot boven de grenswaarde. Zie figuur 3-35.



Figuur 3-35. Straling op slachtofferniveau bij inzet NK rechtstreeks in de brandruimte

Wat betreft CO is een vergelijkbaar beeld te zien. Vanaf de inzet stijgt het CO-gehalte tot ruim boven de grenswaarde, naar 15.000-18.000 ppm. Wel is te zien dat er voorafgaand aan de inzet al een beperkte stijging te zien is bij experiment NK4-1. Iets na de inzet volgt echter een sterkte stijging. Zie figuur 3-36.



Figuur 3-36. Concentratie CO op slachtofferniveau bij inzet NK rechtstreeks in de brandruimte

### Samengevat

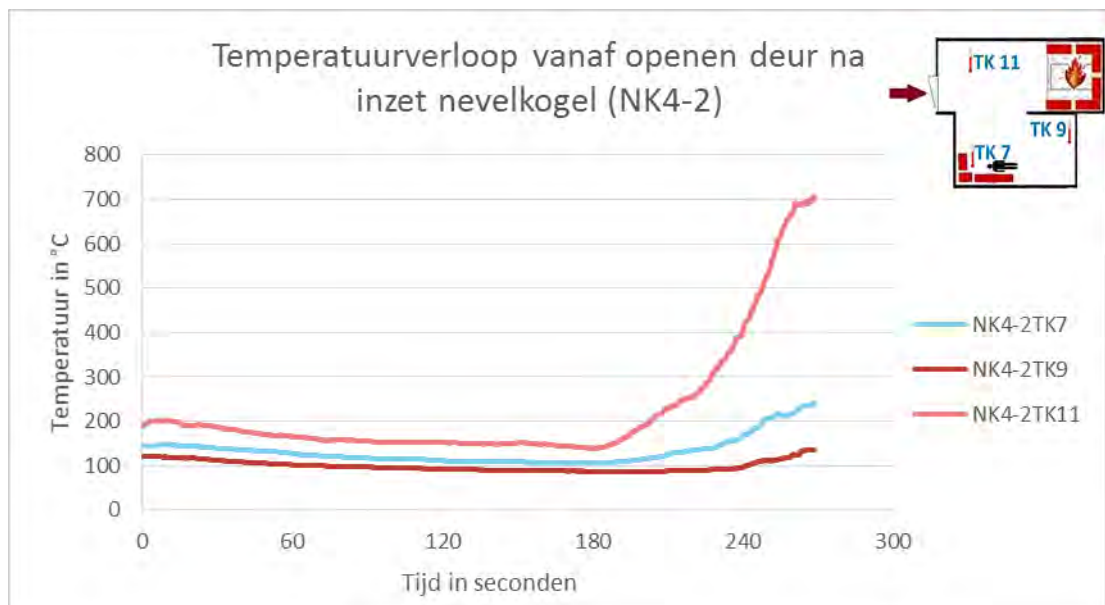
Onder de proefomstandigheden heeft de NK geen negatief effect heeft op  $O_2$ , temperatuur en  $NO_x$  op slachtofferniveau. De toename van CO en bij één inzet straling kan echter mogelijk ook een negatief effect hebben op de kansen van het slachtoffer om de situatie te overleven.

## 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. In figuur 3-37 en figuur 3-38 is te zien dat de temperatuur na het openen van de deur nog ruim twee tot drie minuten stabiel blijft. Daarna stijgt de temperatuur exponentieel, waarna binnen een minuut het experiment beëindigd moest worden vanwege het bereiken van de maximale temperatuur van 700 °C.

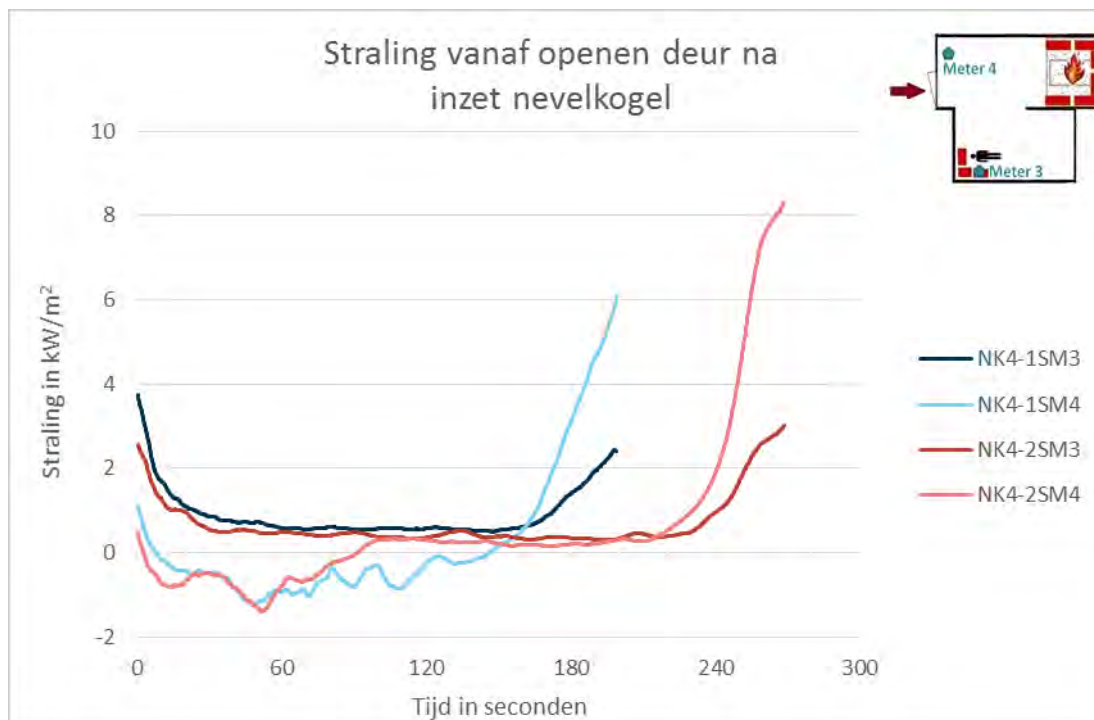


Figuur 3-37. Temperatuurverloop vanaf openen deur na inzet NK (NK4-1)



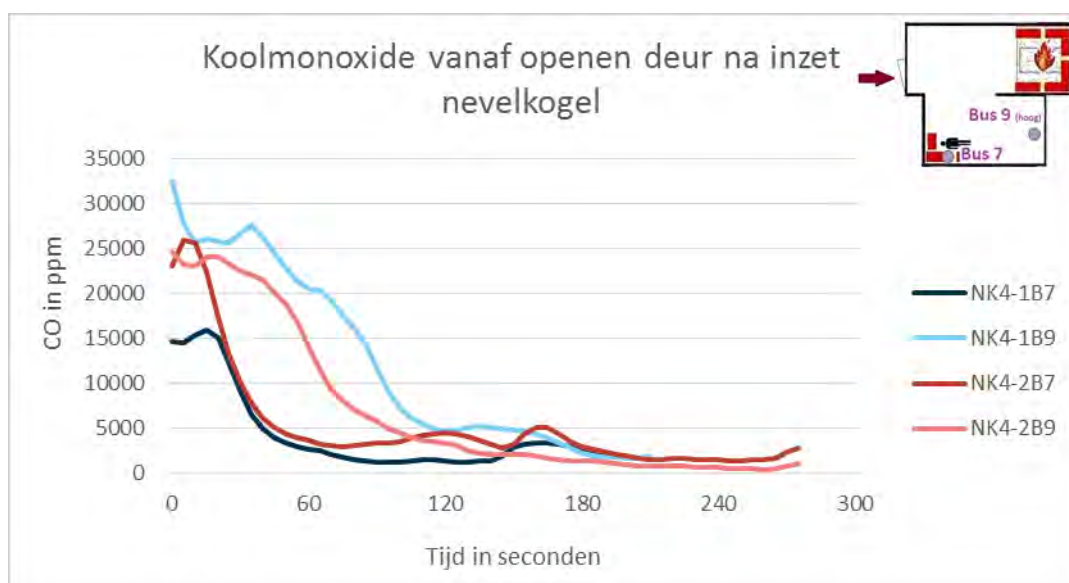
Figuur 3-38. Temperatuurverloop vanaf openen deur na inzet NK (NK4-2)

Als gekeken wordt naar de straling, geeft dit een vergelijkbaar beeld als bij het temperatuurverloop. Zie figuur 3-39.



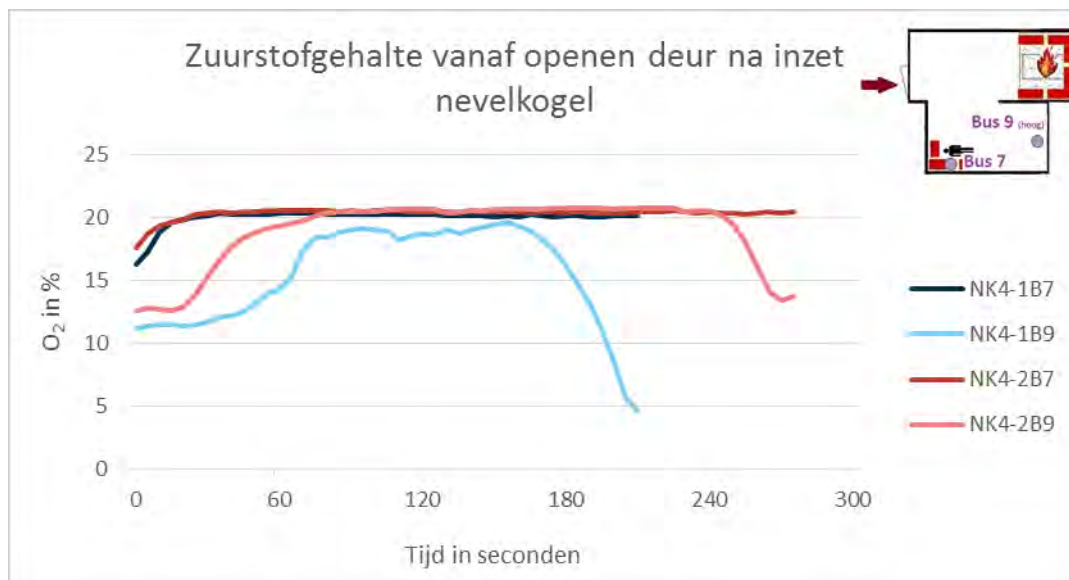
Figuur 3-39. Straling vanaf openen deur na inzet NK

Na het openen van de deur is een sterke afname van het CO-gehalte te zien. Dit wordt vermoedelijk veroorzaakt door de stroming, waarbij de rookgassen van de ventilatiegecontroleerde fase in de opstartfase en de inzetfase meegevoerd worden naar buiten. De heroplaiing is te zien als een klein piekje tussen de 150 en 180 seconden, maar leidt niet tot een substantiële toename van het CO-gehalte. Zie figuur 3-40.



Figuur 3-40. Concentratie CO vanaf openen deur na inzet NK

Wat betreft het O<sub>2</sub>-gehalte is te zien dat na het openen van de deur het gehalte eerst toeneemt tot bijna 20%. Zodra de brand heroplait is er sprake van een afname. Zie figuur 3-41.



Figuur 3-41. O<sub>2</sub>-gehalte vanaf openen deur na inzet NK

### Samengevat

Na de inzet van de NK en het openen van de deur is er onder de proefomstandigheden in principe voldoende tijd om over te schakelen op een offensieve binneninzet. Gedurende 2 tot 3 minuten na het openen van de deur blijft de brand stabiel.

Daarna stijgt de temperatuur exponentieel van 150 °C naar 700 °C binnen een minuut. Ook is dan een sterke toename van de straling. Het CO-gehalte neemt af, evenals de O<sub>2</sub> in de rookgaslaag. Het is dus van belang om na de inzet met de NK wel relatief snel de vuurhaard definitief te bereiken en af te blussen.

## 3.4.2 Inzet op het gebouw met twee ruimten

### Blussing

Bij de blussing is bij de twee experimenten een verschillend beeld zichtbaar op de warmtebeeldcamera. In experiment NK43-1 is na start van de inzet te zien dat de vlammen afnemen. Anderhalve minuut na de start is er sprake van een knockdown. Wel blijft er een gloeistadium aanwezig. Anderhalve minuut na de knockdown is er sprake van een heroplaaiing. Uiteindelijk staat binnen vijf minuten na de start van de inzet weer de gehele stapel in brand.

Bij het tweede experiment, NK43-2, loopt de intensiteit van de vuurhaard, net voordat de NK wordt ingezet, terug. Direct bij de start van de NK ontbrandt de gehele vuurhaard snel en krijgt daarna een pulserend karakter, waarbij de intensiteit afwisselend terugloopt of toeneemt. Vervolgens wordt de vuurhaard weer wat meer stabiel.

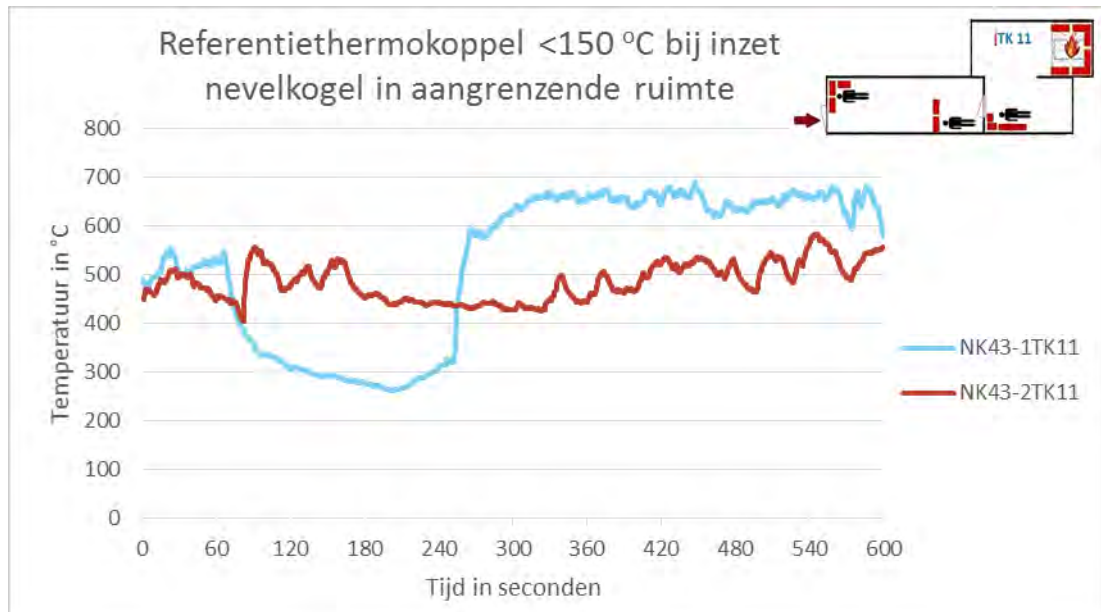
### Samengevat

De inzet van de NK in de aangrenzende ruimte heeft een wisselend effect op de blussing van de vuurhaard. In het eerste experiment slaat de NK in eerste instantie de vlammen neer, maar vervolgens ontstaat er een heroplaaiing. In het tweede experiment is er geen sprake van een knockdown. De NK blijkt niet in staat een structurele knockdown te bereiken.

### Koeling

Als gekeken wordt naar de koeling van de rookgassen, dan blijkt dat de NK bij één van de twee inzetten in eerste instantie een daling tot onder de 300 °C in de brandruimte laat zien, maar dat daarna een stijging plaatsvindt tot boven de starttemperatuur. Als het temperatuurverloop echter naast de nulmeting gelegd wordt, is te zien dat de grafiek een

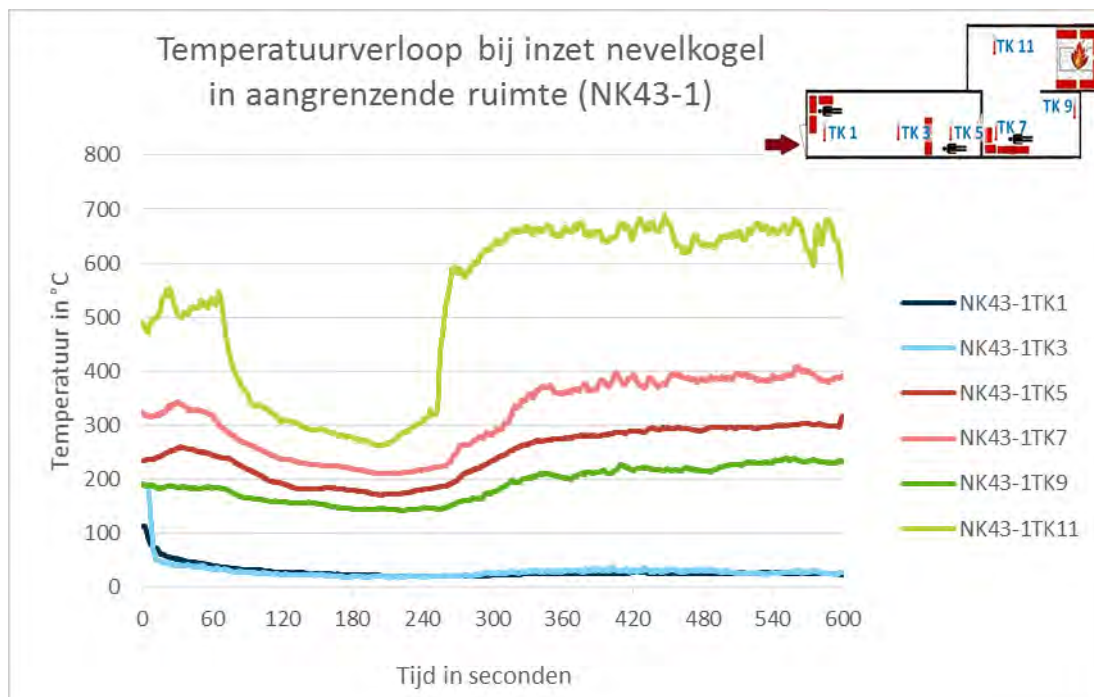
vergelijkbaar patroon geeft, met andere woorden, de inzet van de NK heeft nauwelijks effect op de temperatuur in de brandruimte ten opzichte van de situatie zonder inzet. Bij de andere brand is sprake van schommeling in temperatuur rondom de starttemperatuur. De NK is in beide inzetten op het gebouw met twee ruimten niet in staat de temperatuur in de brandruimte onder de grens van 150 °C te brengen. Zie ook figuur 3-42.



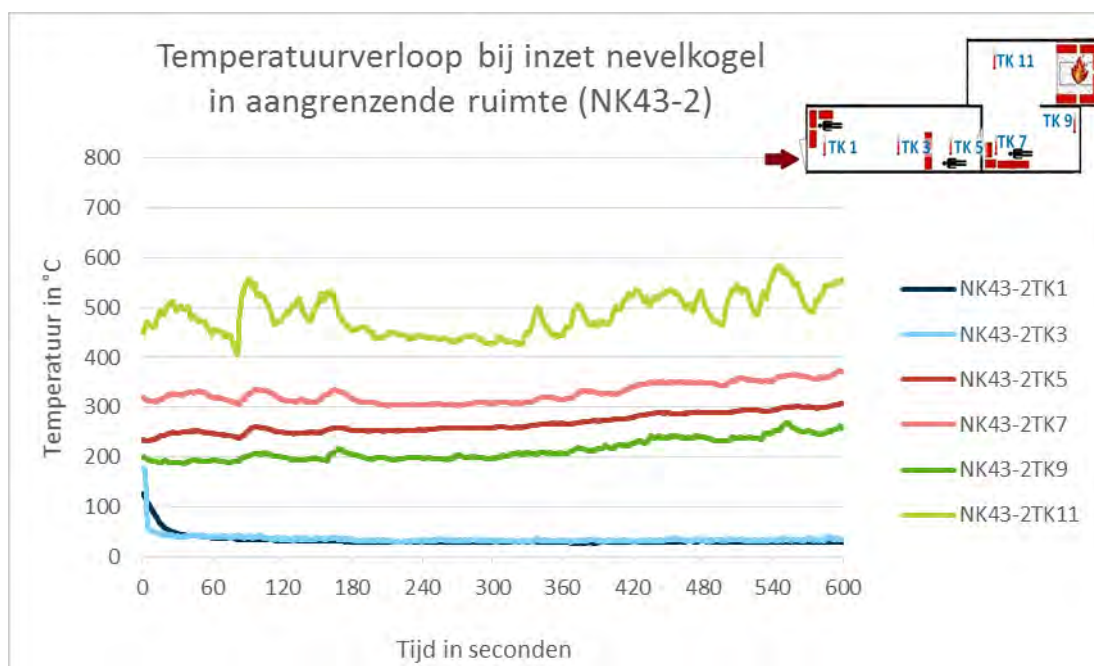
**Figuur 3-42. Temperatuurverloop op referentiethermokoppel 11 bij inzet NK op gebouw met twee ruimten**

Als gekeken wordt naar de overige thermokoppels (figuur 3-43 en figuur 3-44), valt op dat in de ruimte waarin wordt ingezet (de aangrenzende ruimte, thermokoppel 1 en 3) er sprake is van een daling, waarbij de koeling in stand blijft gedurende de inzet.

Bij NK43-1 is na ongeveer een minuut ook een daling te zien in de brandruimte, maar neemt ongeveer twee minuten later de temperatuur weer toe tot boven de starttemperatuur. Bij NK43-2 is er sprake van een lichte stijging van de temperatuur in de brandruimte.



**Figuur 3-43. Temperatuurverloop gehele ruimte bij inzet NK op gebouw met twee ruimten (NK43-1)**



**Figuur 3-44. Temperatuurverloop gehele ruimte bij inzet NK op gebouw met twee ruimten (NK43-2)**

**Samengevat**

De NK kan bij de inzet in het gebouw met twee ruimten, de temperatuur in de brandruimte niet onder de grens van 150 °C brengen. Eenmaal lukt het in eerste instantie een daling te veroorzaken, maar daarna stijgt de temperatuur nog tijdens de inzet tot boven de starttemperatuur. Bij het andere experiment is sprake van schommeling in temperatuur rondom de starttemperatuur.


In de aangrenzende ruimte wordt wel een snelle en blijvende koeling bereikt, waarbij de temperatuur onder de 150 °C komt.



## Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid

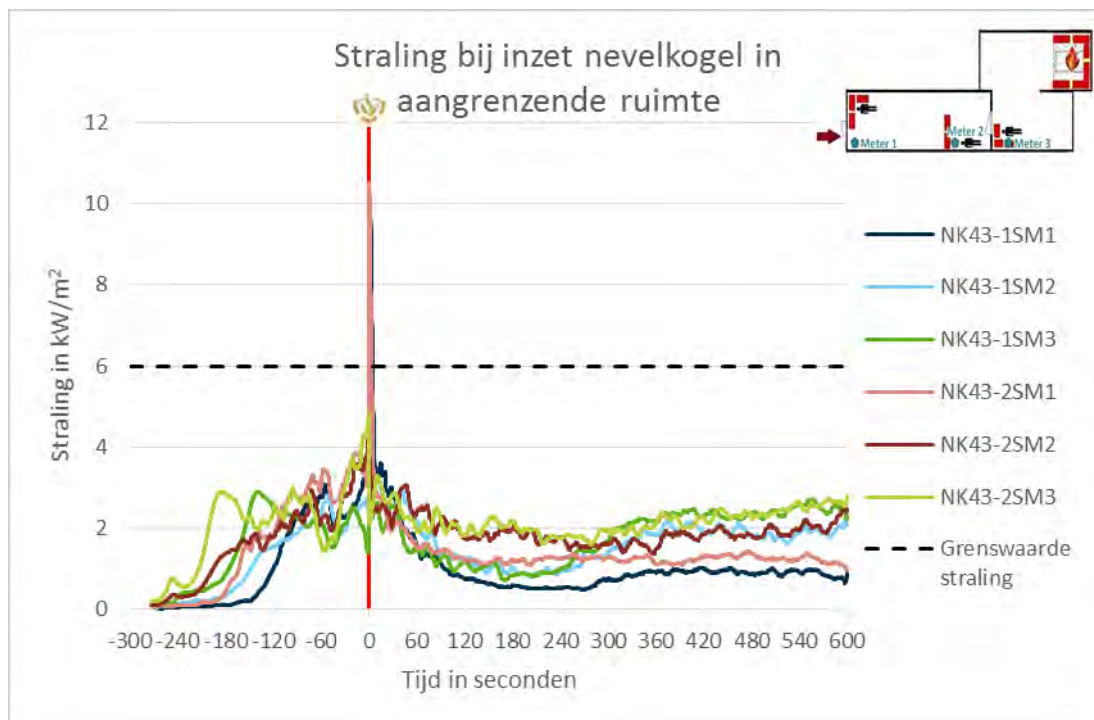
In tabel 3-6 is aangegeven of de grenswaarden voor overleefbaarheid zijn overschreden, en zo ja, of dit in de opstartfase of in de inzetfase is. Uit de tabel blijkt dat de grenswaarde voor temperatuur bij inzet met de NK niet worden overschreden. Wat betreft straling blijkt dat bij slachtoffer 1, het dichtst bij de inzetlocatie, de grenswaarden voor straling worden overschreden. Normaliter zou verwacht worden dat dit eerder dichtbij de vuurhaard zou gebeuren. Echter een aanvullende proef met inzet van de NK zonder vuurhaard (een lege, koude container) op dezelfde locatie geeft geen verhoogde stralingswaarden. Een onbedoeld effect van uitsluitend het water op de meter kan daarmee worden uitgesloten.

Tabel 3-6. Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid

		Temperatuur in °C		Straling in kW/m <sup>2</sup>		CO in ppm		O <sub>2</sub> in %		NO <sub>x</sub> in ppm	
		NK 43-1	NK 43-2	NK 43-1	NK 43-2	NK 43-1	NK 43-2	NK 43-1	NK 43-2	NK 43-1	NK 43-2
Slachtoffer 1	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Ja (I)	Ja (I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Nee	Nee
	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (I)	Ja (O+I)	Nee	Nee
Slachtoffer 2	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Nee	Ja (I)	Nee	Nee
	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Nee	Ja (I)	Nee	Nee
Slachtoffer 3	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Nee	Ja (I)	Nee	Nee
	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Nee	Ja (I)	Nee	Nee

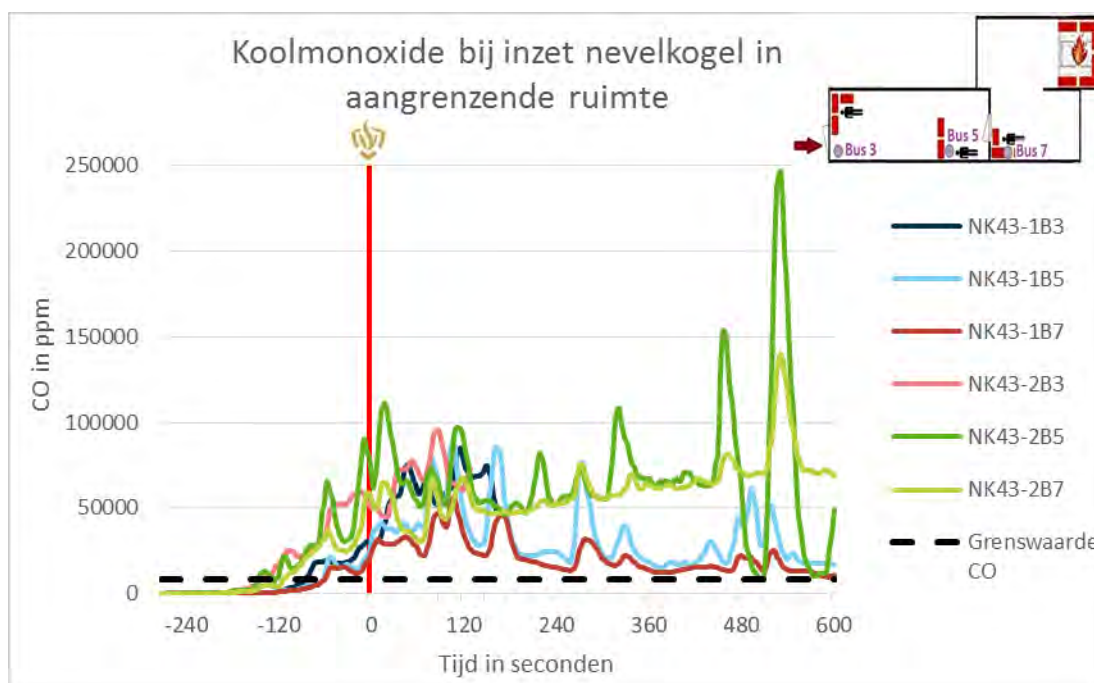
CO grenswaarden worden voor alle drie de slachtoffers overschreden, in zowel de opwarmfase als de inzetfase. De O<sub>2</sub>-waarden overschrijden deels de grenswaarde, bij NK43-1 voor slachtoffer 1 en 2 in de inzetfase, bij NK43-2 bij slachtoffer 1 en 2 in de opwarm- en inzetfase, en bij slachtoffer 3 in de inzetfase. In de onderstaande grafieken is het verloop van deze parameters weergegeven.

In figuur 3-45 is te zien dat vlak na de start van de inzet van de NK, er bij beide inzetten een zeer korte piek te zien is van ruim 10 kW/m<sup>2</sup> bij het slachtoffer in de aangrenzende ruimte (het dichtst bij de inzetlocatie). Bij de inzet met de lans steekt deze enkele meters de ruimte in. Na de piek neemt de straling vrij snel af tot onder de grenswaarde. In de brandruimte is geen verhoging van de straling zichtbaar.



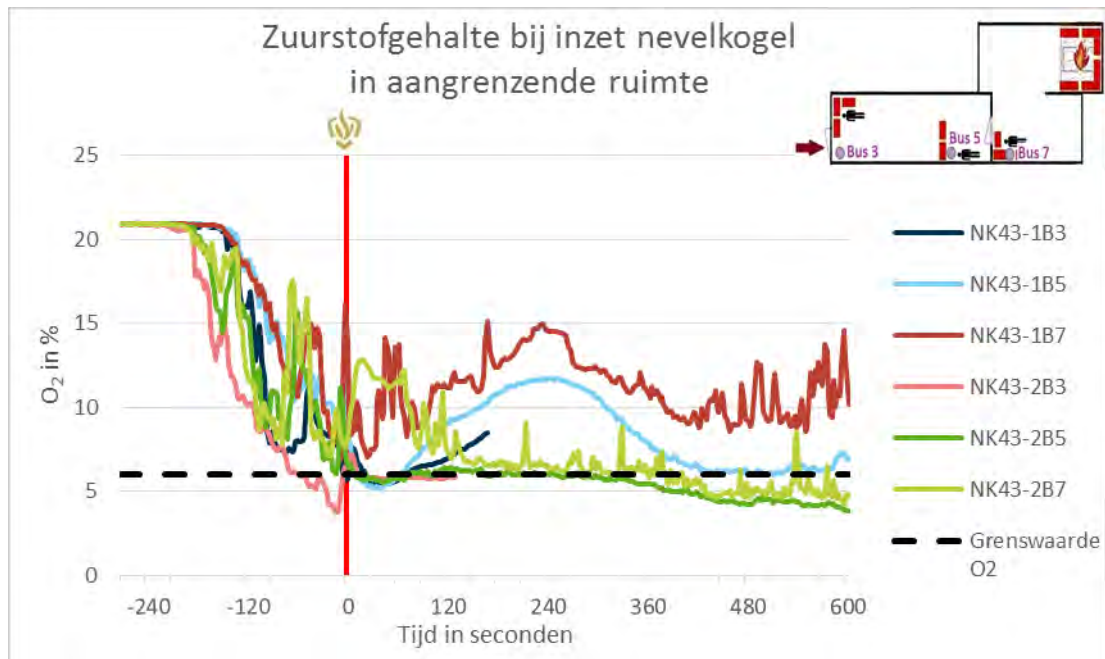
**Figuur 3-45. Straling op slachtofferniveau bij inzet NK op gebouw met twee ruimten**

Wat betreft het CO-gehalte is de grenswaarde bij de opstartfase al overschreden. Ook is er een stijgende lijn te zien voorafgaand aan de inzetfase. Of de daarop volgende pieken veroorzaakt zijn door de inzet met de NK, of het gevolg zijn van een proces dat zich voor de inzet al aan het voltrekken was, kan niet met zekerheid worden gesteld. Opvalt dat het CO-gehalte ver boven de onderste explosiegrens komt (bijna 250.000 ppm ten opzichte van een LEL van 110.000 ppm). Zie figuur 3-46.



**Figuur 3-46. Concentratie CO op slachtofferniveau bij inzet NK op gebouw met twee ruimten**

Het O<sub>2</sub>-gehalte is zichtbaar in figuur 3-47. Er is voorafgaand aan de inzet sprake van een dalende lijn, de grenswaarde van 6% wordt met name bij experiment NK43-2 gezien aan het einde.



Figuur 3-47. O<sub>2</sub>-gehalte op slachtofferniveau bij inzet NK op gebouw met twee ruimten

Wat betreft de NO<sub>x</sub> wordt de grenswaarde niet overschreden.

### Conclusie

De grenswaarden voor overleefbaarheid op slachtofferniveau voor CO (alle slachtoffers), O<sub>2</sub> (een wisselend beeld) en straling (het slachtoffer het dichtst bij de inzetlocatie) worden overschreden bij de inzet van de NK op het gebouw met twee ruimten. Het CO-gehalte, dat al hoog was voor de inzet, stijgt vanaf de inzet tot zeer hoge waarden, tot 250.000 ppm, ver boven de onderste explosiegrens. De grenswaarde voor NO<sub>x</sub> wordt niet overschreden.

### Effect na inzet

In de onderzoeksofzet is uitgegaan van het openen van een deur na een succesvolle offensieve buiteninzet, om zo het effect van het overschakelen naar een binneninzet te simuleren. Aangezien in dit scenario de NK niet in staat is gebleken een succesvolle offensieve buiteninzet te doen (binnen de experimentopzet de temperatuur <150 °C brengen), zijn de resultaten van het openen van de deur uitsluitend als achtergrondinformatie opgenomen in bijlage D (paragraaf 2).

## 3.5 Fognail (FN)

### 3.5.1 Inzet op het gebouw met één ruimte

#### Blussing

Bij het eerste experiment (FN4-1) is met de warmtebeeldcamera te zien dat 15 seconden na start van de inzet er is sprake is van een knockdown. De vuurhaard neemt vervolgens verder af gedurende de gehele inzetfase van het systeem, waarbij de onderste helft van de stapel pallets een hogere temperatuur houdt dan het bovenste gedeelte.

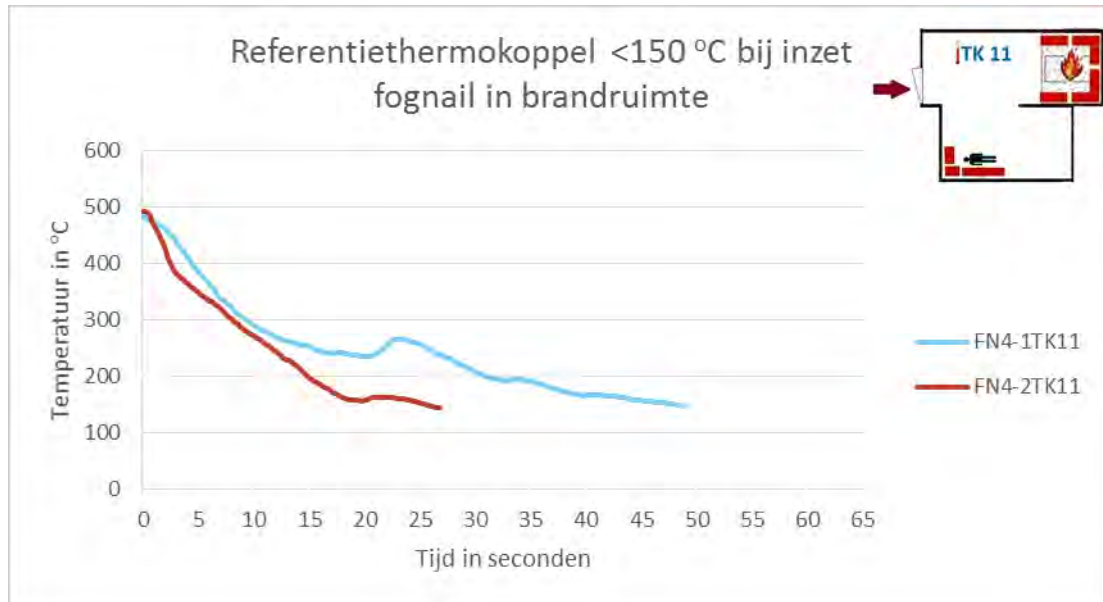
Bij het tweede experiment (FN4-2) zijn op de warmtebeeldcamera al na 5 seconden geen vlammen meer te zien. De vuurhaard wordt gedurende de inzet van het systeem verder gekoeld, waarbij er een minder groot verschil is tussen de boven- en onderkant van de stapel.

## Samengevat

Met de FN wordt een knockdown bereikt wanneer deze rechtstreeks in de brandruimte wordt ingezet. Deze knockdown blijft in stand tot het einde van de inzet.

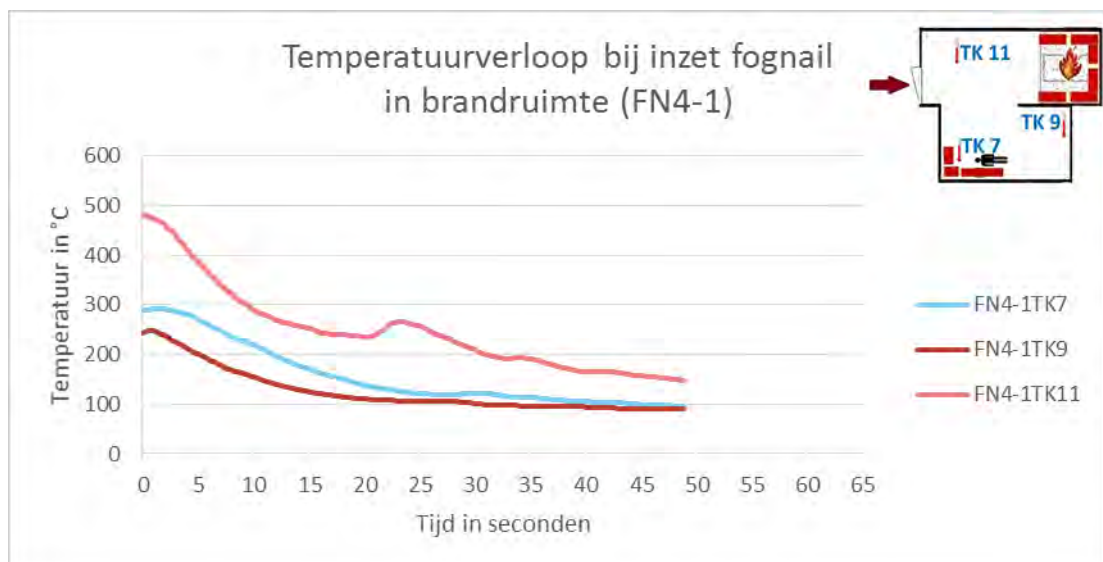
## Koeling

Als gekeken wordt naar de koeling van de rookgassen, dan blijkt dat de FN bij de ene inzet na 48 seconden en bij de andere inzet na 26 seconden de temperatuur in de brandruimte onder de grens van 150 °C brengt. Zie ook figuur 3-48.

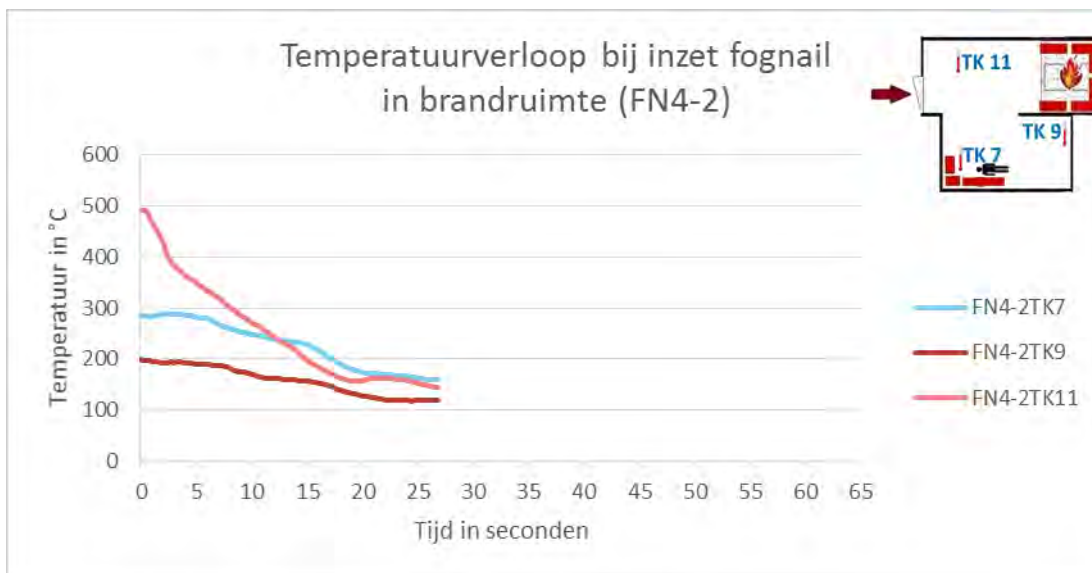


Figuur 3-48. Temperatuurverloop op referentiethermokoppel 11 bij inzet FN rechtstreeks in de brandruimte

Bij het temperatuurverloop in de gehele ruimte is in figuur 3-49 en figuur 3-50 te zien, dat op alle drie de thermokoppels in de brandruimte sprake is van een dalende lijn.



Figuur 3-49. Temperatuurverloop gehele ruimte bij inzet FN rechtstreeks in de brandruimte (FN4-1)



Figuur 3-50. Temperatuurverloop gehele ruimte bij inzet FN rechtstreeks in de brandruimte (FN4-2)

### Conclusie

Met de FN wordt de rookgaslaag binnen 26-48 seconden gekoeld tot onder de 150 °C.

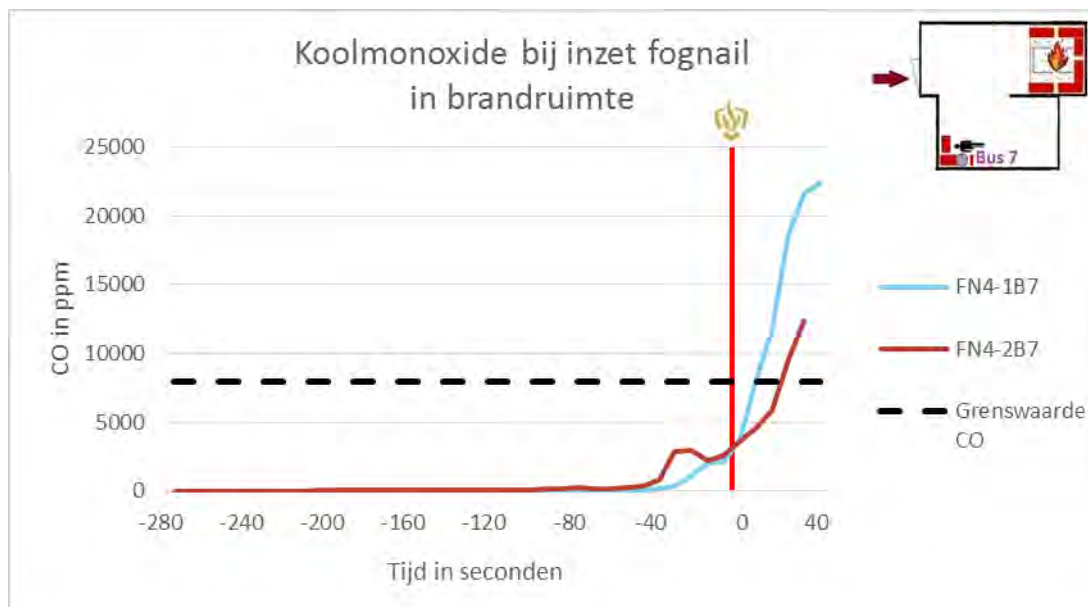
### Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid

In tabel 3-7 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 O<sub>2</sub>, temperatuur-, stralings- en stikstofgrenswaarden bij inzet met de FN niet worden overschreden. Wel worden de grenswaarden voor CO (uitsluitend in de inzetfase) overschreden.

Tabel 3-7. Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid

	Temperatuur in °C	Straling in kW/m <sup>2</sup>		CO in ppm		O <sub>2</sub> in %		NO <sub>x</sub> in ppm			
		FN 4-1	FN 4-2	FN 4-1	FN 4-2	FN 4-1	FN 4-2	FN 4-1	FN 4-2		
<b>Slachtoffer 3</b>	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja (I)	Ja (I)	Nee	Nee	Nee	Nee

Bij CO is er kort voor de inzet sprake van een lichte stijging, maar vanaf het moment van de inzet met de FN is een sterke toename te zien van het CO-gehalte bij het slachtoffer in de brandruimte, tot boven de grenswaarde. Zie figuur 3-51.



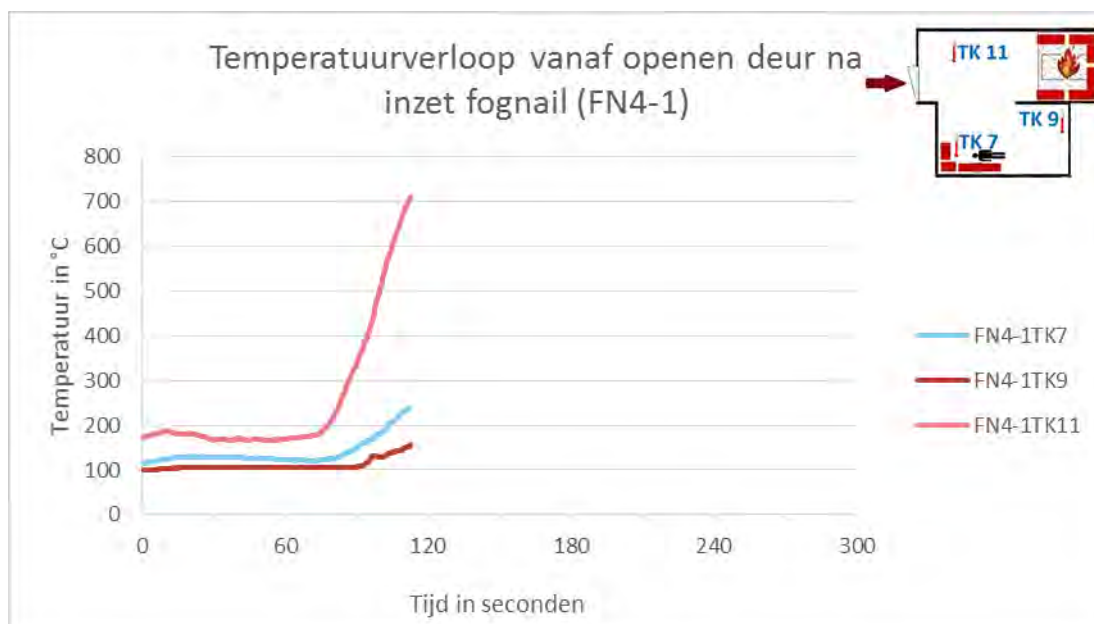
**Figuur 3-51. Concentratie CO op slachtofferniveau bij inzet FN rechtstreeks in de brandruimte**

### Samengevat

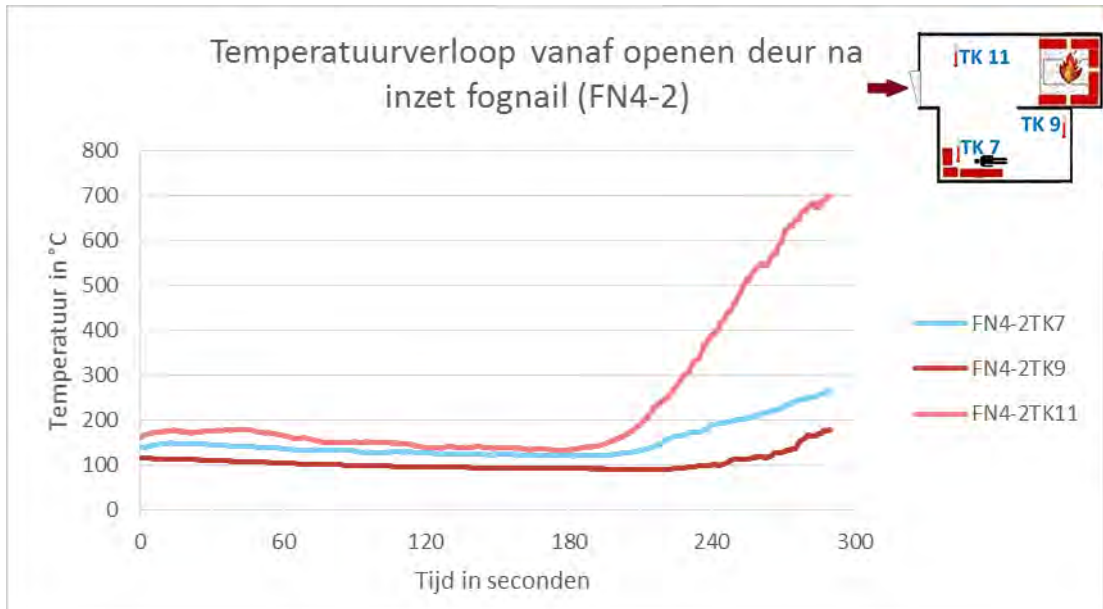
Het lijkt erop dat de FN geen negatief effect heeft op  $O_2$ , temperatuur, straling en  $NO_x$  voor het slachtoffer. Wel is er direct na de start van de inzet sprake van een mogelijk negatief effect op het gehalte CO op de overleefbaarheidssituatie van het slachtoffer.

### 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. Er is te zien dat de temperatuur in het ene geval (FN4-1) na ruim een minuut, en in het andere geval (FN4-2) na ruim drie minuten weer sterk stijgt als gevolg van een heroplaging. Daarna stijgt de temperatuur binnen 1-2 minuten naar de grens van  $700\text{ }^\circ\text{C}$ . Zie figuur 3-52 en figuur 3-53.

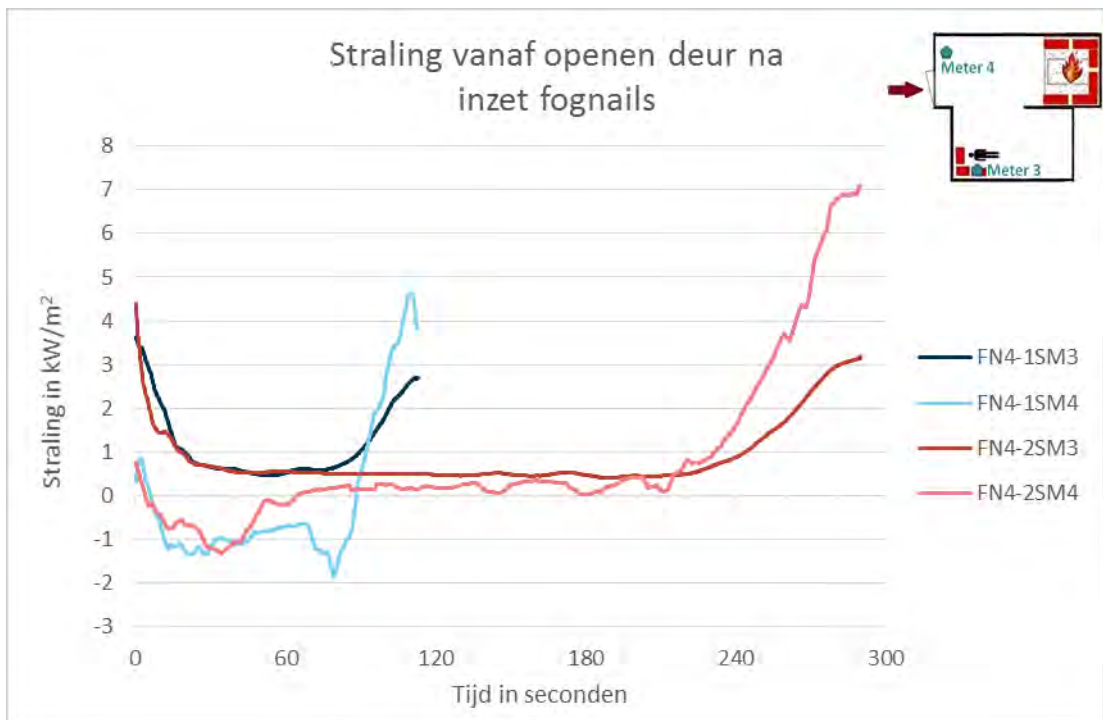


**Figuur 3-52. Temperatuurverloop vanaf openen deur na inzet FN (FN4-1)**



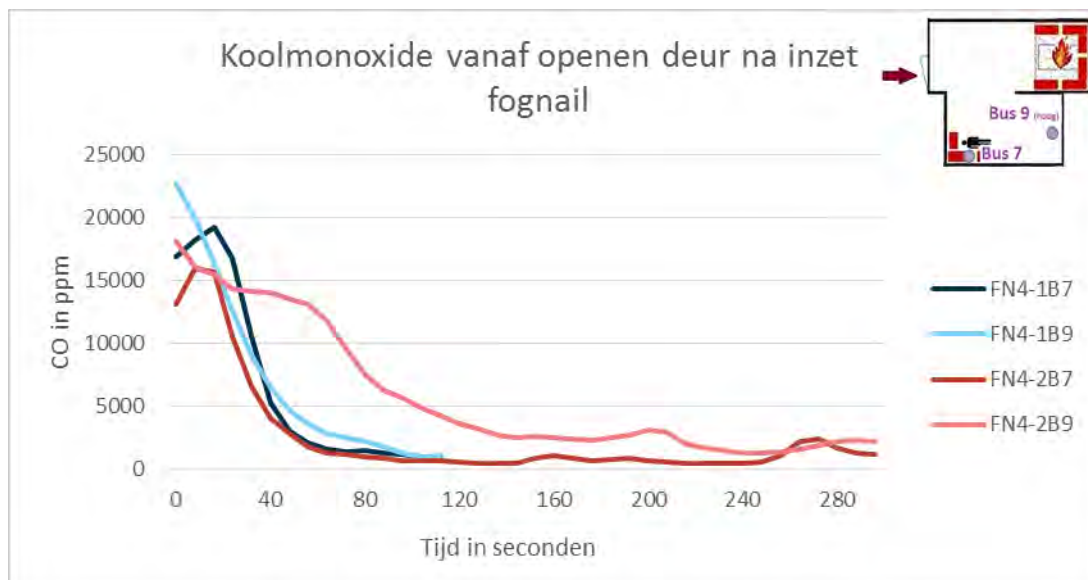
Figuur 3-53. Temperatuurverloop vanaf openen deur na inzet FN (FN4-2)

Als wordt gekeken naar de straling, is te zien dat vanaf het moment van heroplaaiing de straling ook weer toeneemt. Dit is weergegeven in figuur 3-54.

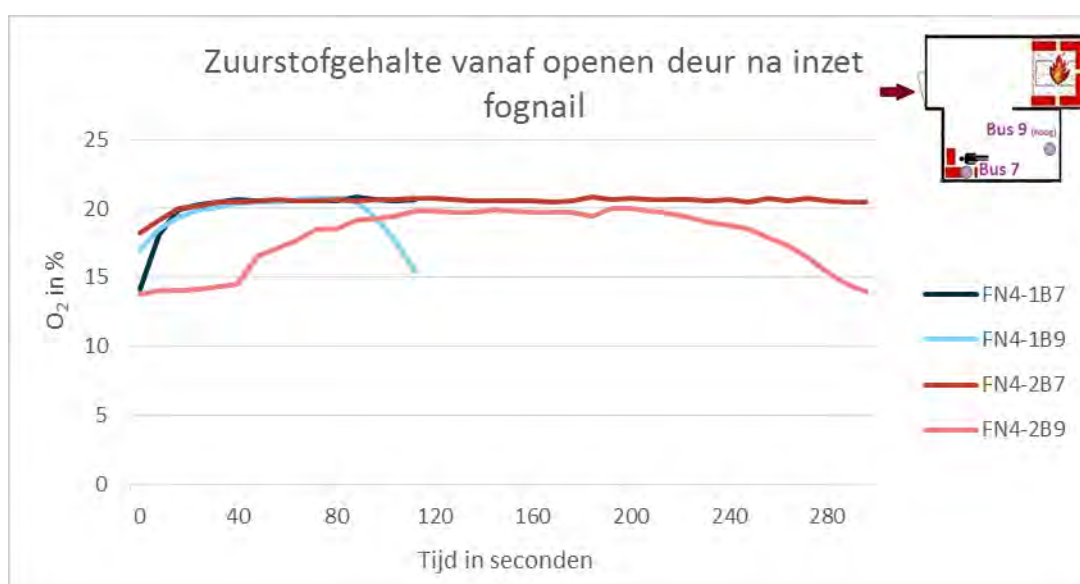


Figuur 3-54. Straling vanaf openen deur na inzet FN

Ook bij de FN daalt na het openen van de deur het CO-gehalte, en stijgt het O<sub>2</sub>-gehalte (behalve na ontwikkeling van de brand in de brandruimte). Zie ook figuur 3-55 en figuur 3-56.



Figuur 3-55. Concentratie CO vanaf openen deur na inzet FN



Figuur 3-56. O<sub>2</sub>gehalte vanaf openen deur na inzet FN

### Samengevat

Na de inzet van de FN en het openen van de deur is er onder de proefomstandigheden in principe voldoende tijd om over te schakelen op een offensieve binneninzet, mits de omschakeling snel verloopt. Binnen 1 tot 3 minuten na het openen van de deur is er een heroplaaiing, waarna de temperatuur exponentieel stijgt van 150 °C naar 700 °C binnen één tot twee minuten. Ook is dan een geleidelijke toename van de straling. Het CO-gehalte neemt af, terwijl de O<sub>2</sub> in de rookgaslaag eerst toe-, en daarna afneemt. Het is dus van belang om na de inzet met de FN relatief snel de vuurhaard definitief te bereiken en af te blussen.

### 3.5.2 Inzet op het gebouw met twee ruimten

#### Blussing

Bij zowel FN43-1 als FN43-2 is te zien dat de intensiteit van de vuurhaard terugloopt. Vooral in het bovenste gedeelte van de vuurhaard. Na ongeveer één minuut (FN43-1) respectievelijk 40 seconden (FN43-2), is er sprake van een tijdelijke knockdown. Ongeveer drie minuten nadat is gestart met de FN, wordt de vuurhaard weer langzaam groter bij FN43-

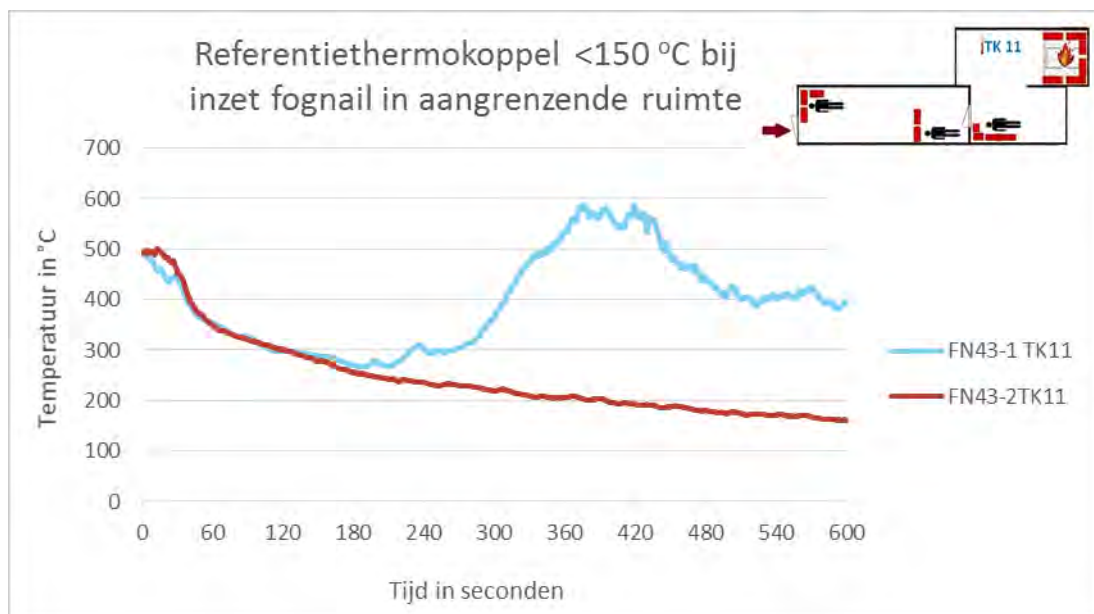


1 tot de stapel weer volledig in brand staat. Ook bij FN43-2 nemen de gloeiverschijnselen weer langzaam toe. Vlak voor het einde van het experiment, na 9 minuten en 13 seconden, zijn op de beelden weer vlammen te zien.

De FN zorgt bij de inzet in de aangrenzende ruimte voor een knockdown van de vlammen. Deze is echter niet blijvend van aard, omdat tijdens de blussing het vuur weer (langzaam) opblaait.

## Koeling

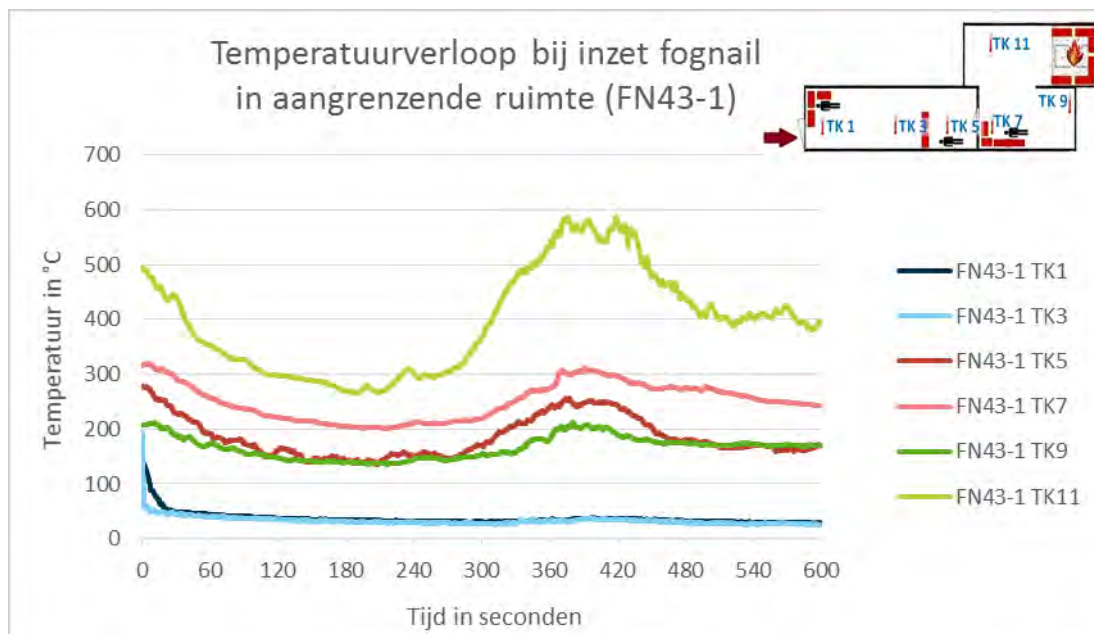
Als gekeken wordt naar de koeling van de rookgassen, dan blijkt dat de FN bij één van de twee inzetten in eerste instantie een daling tot onder de 300 °C in de brandruimte laat zien. Daarna vindt er echter een stijging plaats tot boven de starttemperatuur. Bij de andere brand is sprake van een geleidelijke daling in temperatuur. Tijdens deze totale inzet van 10 minuten lukt het echter ook niet om bij het gebouw met twee ruimten de temperatuur in de brandruimte onder de grens van 150 °C te brengen. Zie ook figuur 3-57.



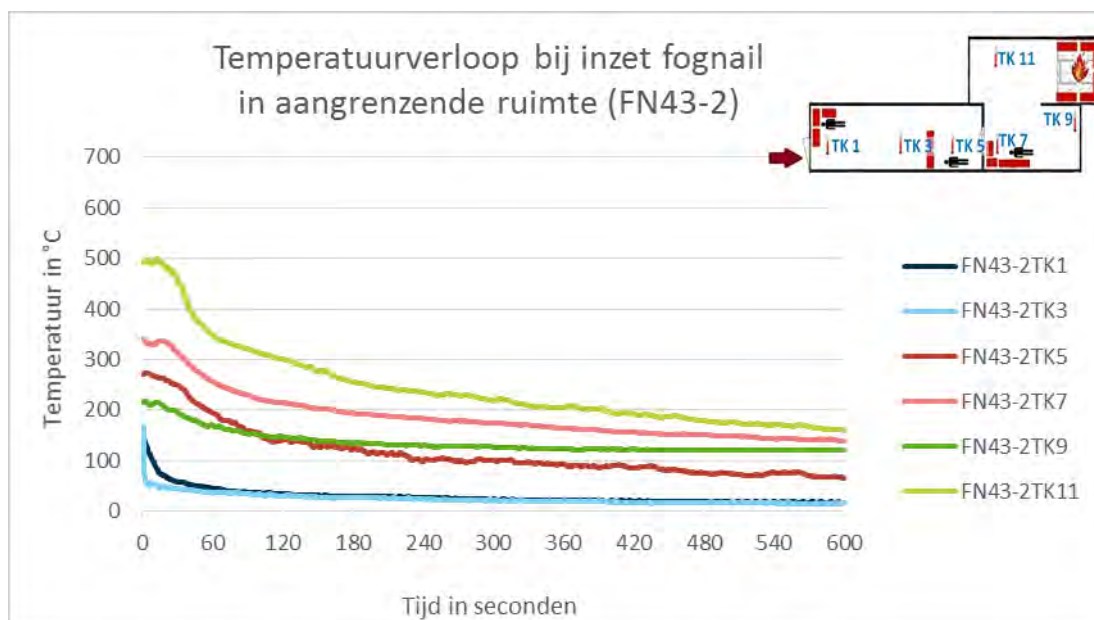
**Figuur 3-57. Temperatuurverloop op referentiethermokoppel 11 bij inzet FN op gebouw met twee ruimten**

Als gekeken wordt naar het temperatuurverloop in de twee ruimten tijdens de inzetten, is een groot verschil te zien tussen de inzet FN43-1 en FN43-2. Bij FN43-1 (figuur 3-58) is er in eerste instantie sprake van een daling in de brandruimte, waarna er een toename van de temperatuur plaatsvindt, met name in de brandruimte. Als het temperatuurverloop echter naast de nulmeting gelegd wordt, is te zien dat de grafiek een vergelijkbaar patroon geeft. Met andere woorden, de inzet van de FN in deze inzet heeft nauwelijks effect op de temperatuur in de brandruimte ten opzichte van de situatie zonder inzet.

Bij FN43-2 (figuur 3-59) is juist sprake van een structurele geleidelijke afname van de temperatuur in de brandruimte gedurende het gehele experiment van 10 minuten. In de aangrenzende ruimte daalt de temperatuur snel en blijft deze laag.



**Figuur 3-58. Temperatuurverloop gehele ruimte bij inzet FN op gebouw met twee ruimten (FN43-1)**



**Figuur 3-59. Temperatuurverloop gehele ruimte bij inzet FN op gebouw met twee ruimten (FN43-2)**

### Samengevat

De inzet met de FN in het gebouw met twee ruimten leidt er niet toe dat de temperatuur in de brandruimte onder de grens van 150 °C komt. Eenmaal lukt het in eerste instantie een daling te veroorzaken, maar daarna stijgt de temperatuur nog tijdens de inzet tot boven de starttemperatuur. Bij de andere brand is sprake van een geleidelijke daling in temperatuur, waarbij het grenscriterium niet bereikt wordt.

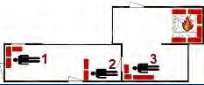
In de aangrenzende ruimte wordt wel een snelle en blijvende koeling bereikt, waarbij de temperatuur onder de 150 °C komt.

### Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid

In tabel 3-8 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 temperatuurgrenswaarden bij inzet met de FN niet worden overschreden. Bij straling en NO<sub>x</sub>

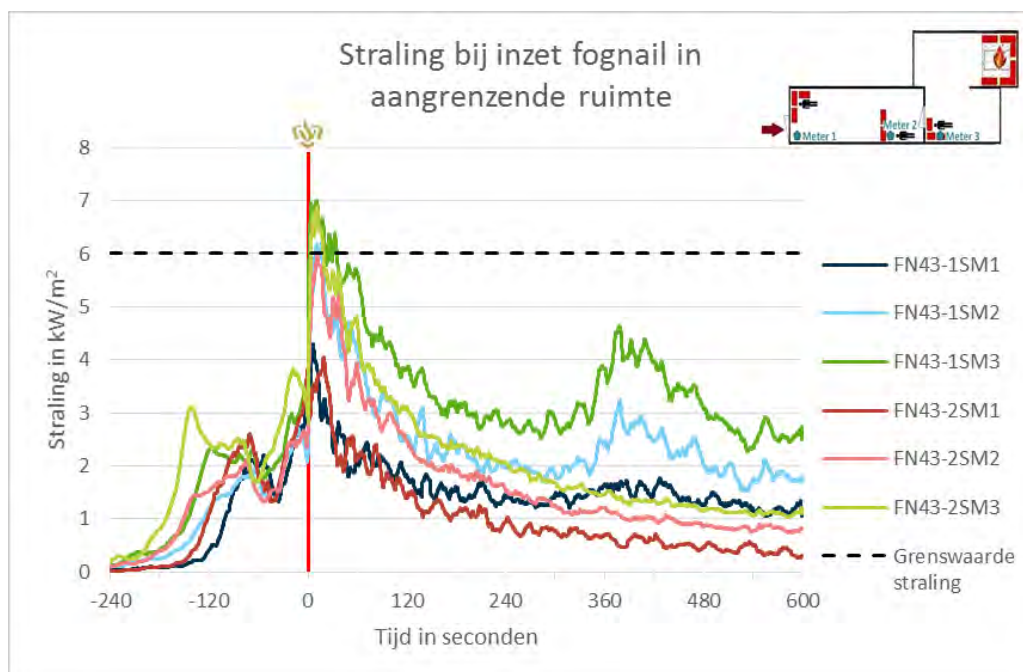
is een wisselend beeld te zien, terwijl de grenswaarden voor CO zowel in de opstartfase als de inzetfase wordt overschreden.

Tabel 3-8. Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid

		Temperatuur in °C		Straling in kW/m <sup>2</sup>		CO in ppm		O <sub>2</sub> in %		NO <sub>x</sub> in ppm	
		FN 43-1	FN 43-2	FN 43-1	FN 43-2	FN 43-1	FN 43-2	FN 43-1	FN 43-2	FN 43-1	FN 43-2
<b>Slachtoffer 1</b>	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja (O+)	Ja (O+)	Ja (O)	Ja (O)	Nee	Nee
<b>Slachtoffer 2</b>	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Ja (I)	Nee	Ja (O+)	Ja (O+)	Nee	Ja (I)	Nee	Ja (I)
<b>Slachtoffer 3</b>	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Ja (I)	Ja (I)	Ja (O+)	Ja (O+)	Nee	Nee	Nee	Nee

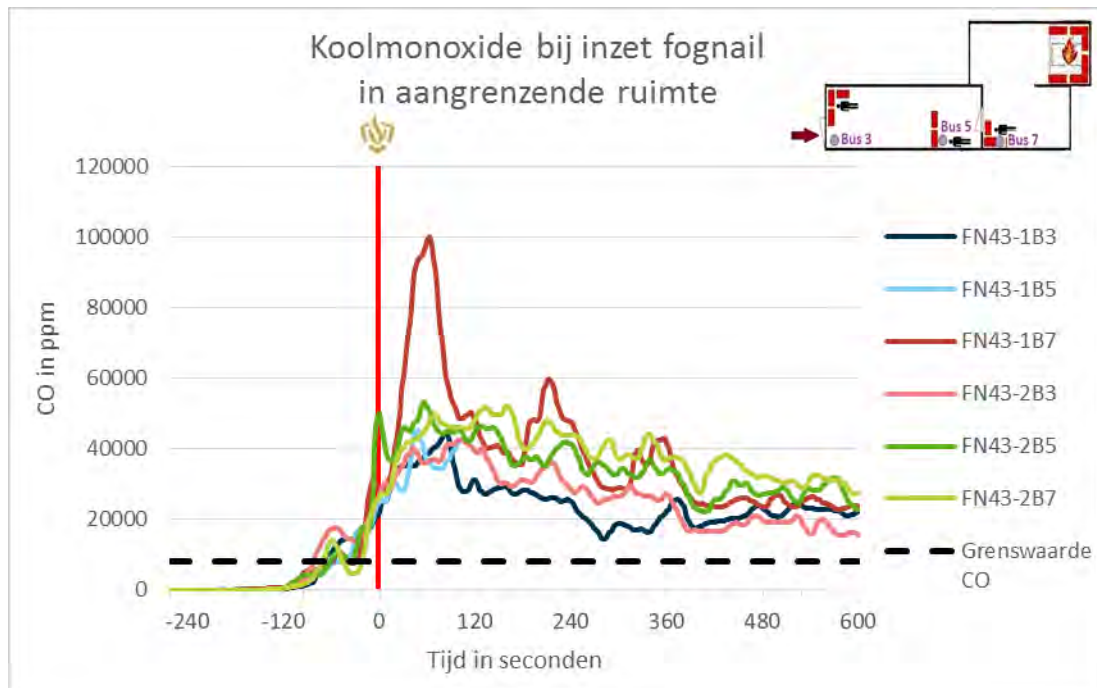
De waarden van deze parameters zijn in onderstaande figuren weergegeven.

In figuur 3-60 is te zien dat de straling direct vanaf de inzet van de FN toeneemt tot net boven de grenswaarden. Na het begin van de inzet neemt de straling weer vrij snel af, tot onder de grenswaarden.

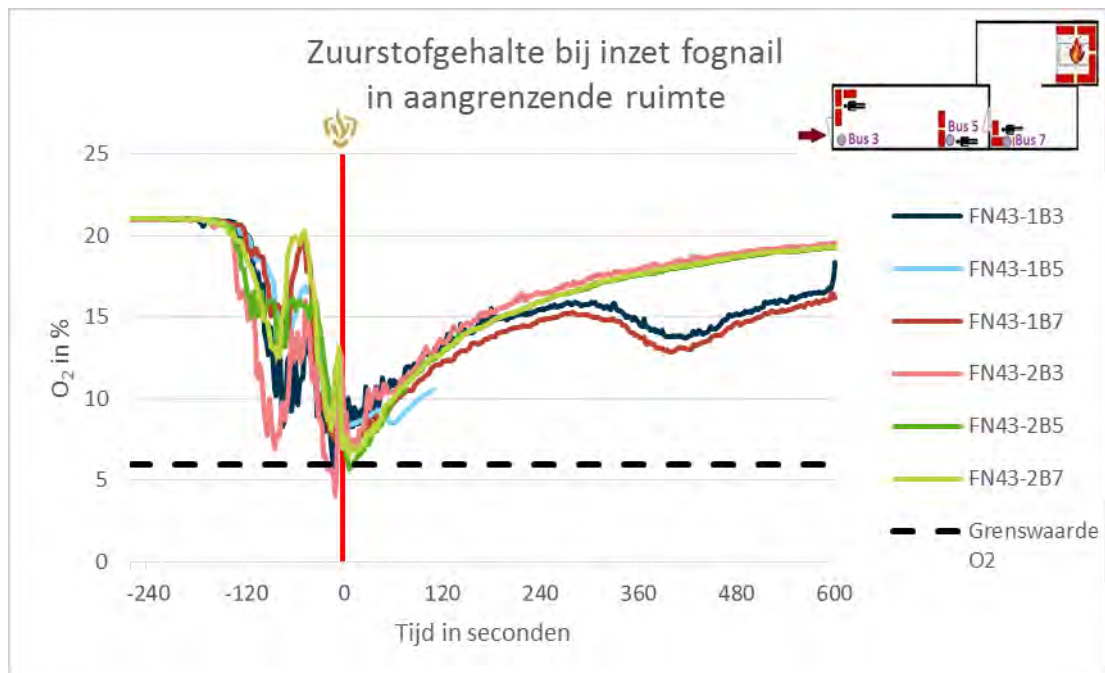


**Figuur 3-60. Straling op slachtofferniveau bij inzet FN op gebouw met twee ruimten**

Als gekeken wordt naar CO, dan is er vlak voor de inzet al een stijging te zien, met net na de inzet een piek tot 100.000 ppm in de brandruimte. Dit is weergegeven in figuur 3-61.

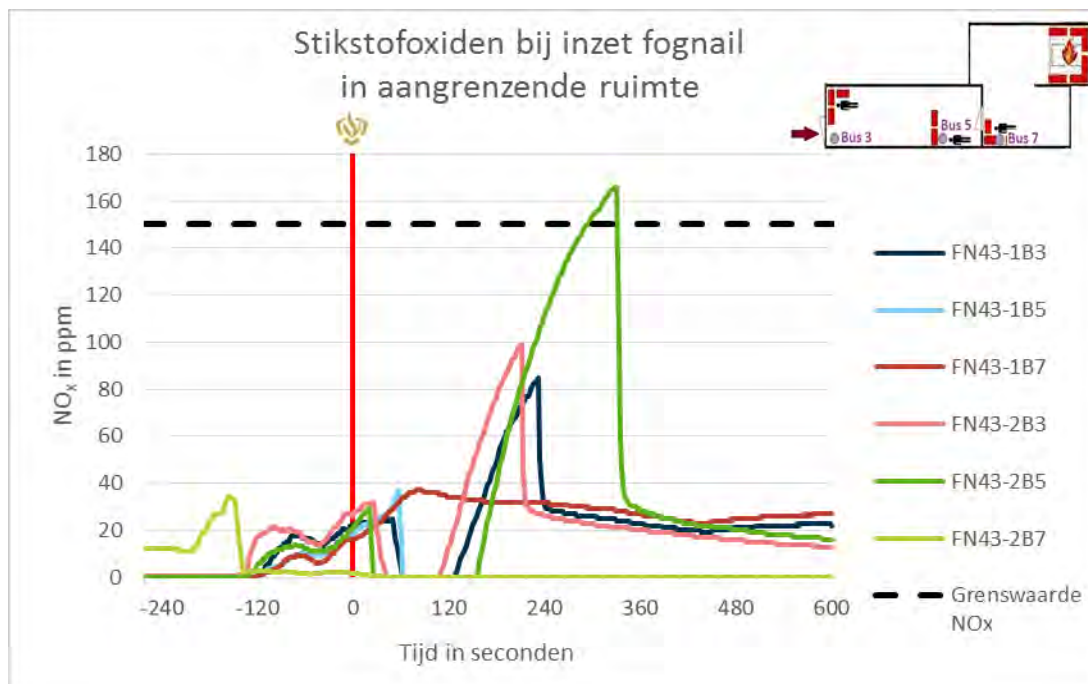


**Figuur 3-61. Concentratie CO op slachtofferniveau bij inzet FN op gebouw met twee ruimten**



**Figuur 3-62. O<sub>2</sub>gehalte op slachtofferniveau bij inzet FN op gebouw met twee ruimten**

Bij de NO<sub>x</sub> is na ongeveer 2 minuten na de start van de inzet een piek te zien tot boven de grenswaarde in de aangrenzende ruimte (slachtoffer 2). Zie figuur 3-63.



Figuur 3-63. NO<sub>x</sub> op slachtofferniveau bij inzet FN op gebouw met twee ruimten

### Conclusie

De grenswaarde voor overleefbaarheid voor CO op slachtofferniveau wordt bij inzet van de FN op het gebouw met twee ruimten voor alle slachtoffers overschreden. De grenswaarde voor O<sub>2</sub> wordt over het algemeen niet overschreden, de concentratie neemt vanaf de inzet juist toe. NO<sub>x</sub> en straling geven een wisselend beeld.

### Effect na inzet

In de onderzoekopzet is uitgegaan van het openen van een deur na een succesvolle offensieve buiteninzet, om zo het effect van het overschakelen naar een binneninzet te simuleren. Aangezien de FN in dit scenario niet in staat is gebleken een succesvolle offensieve buiteninzet te doen (binnen de experimentopzet de temperatuur <150 °C brengen), zijn de resultaten van het openen van de deur uitsluitend als achtergrondinformatie opgenomen in bijlage D (paragraaf 3).

## 3.6 Repressieve ventilatie (RV)

RV is uitsluitend ingezet op het gebouw met twee ruimten. De reden hiervoor is dat bij een direct bereikbare brand een inzet met RV niet logisch is. Immers, met ventilatie wordt de brand niet geblust.

### 3.6.1 Inzet op het gebouw met twee ruimten

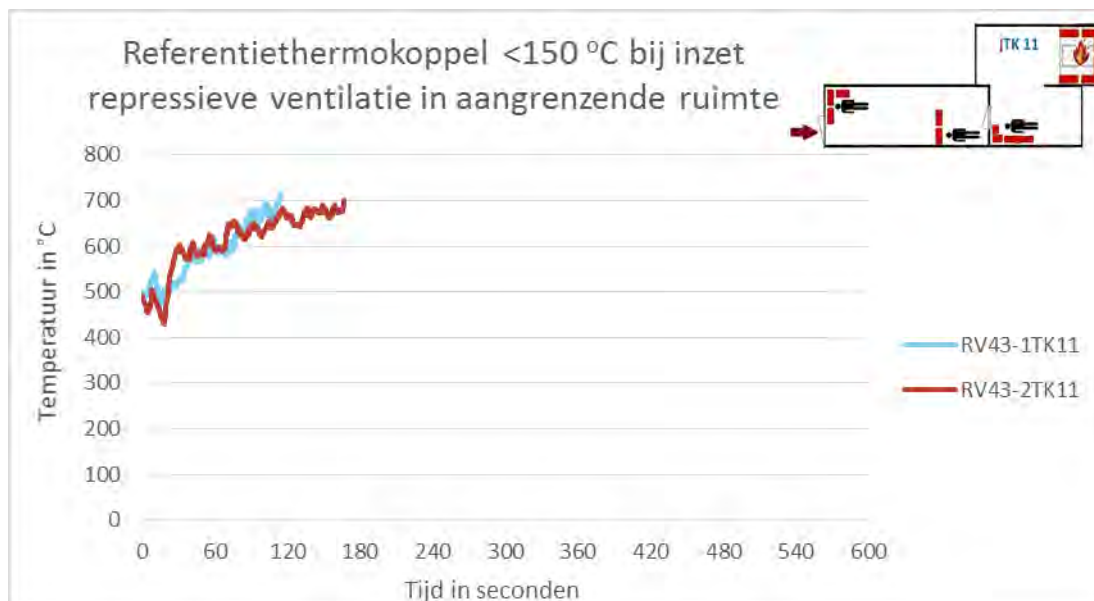
#### Blussing

Bij zowel RV43-1 als RV43-2 is te zien dat de vuurhaard 10 seconden na inzet van RV kort wat minder intensief wordt, maar nog steeds blijft branden. Deze periode duurt ongeveer 10 seconden, waarna de vuurhaard juist snel intensiever begint te branden dan voor de inzet.

De inzet van RV in de aangrenzende ruimte zorgt niet voor een knockdown van de vlammen, maar eerder voor een intensivering van de brand.

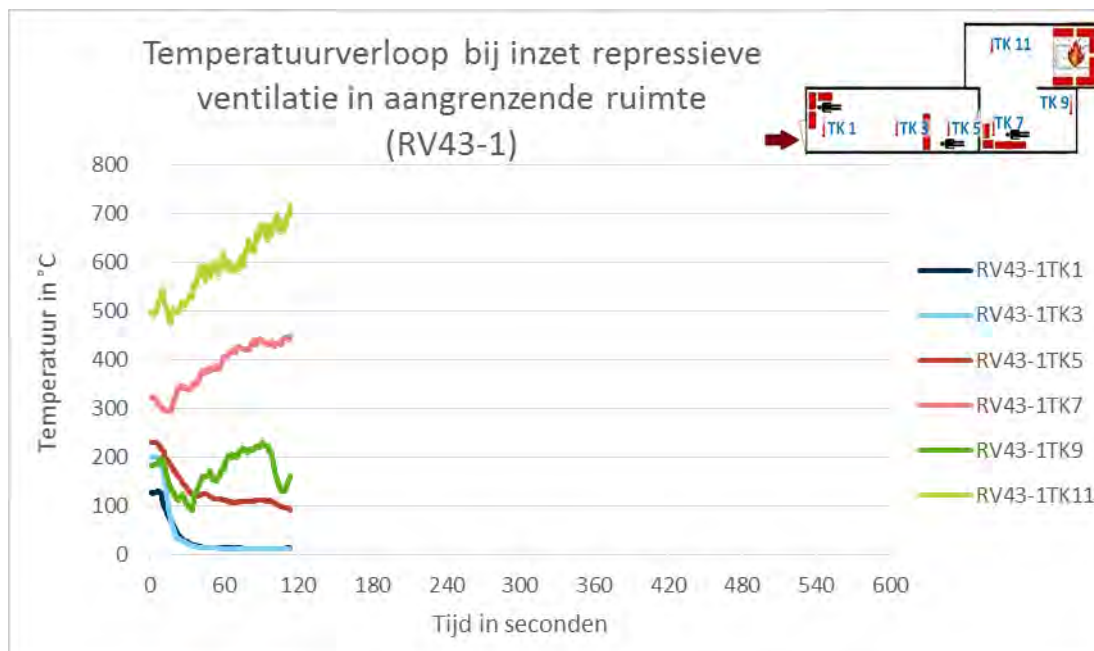
## Koeling

Als gekeken wordt naar de koeling van de rookgassen, dan blijkt dat bij RV bij inzet op het gebouw met twee ruimten er geen sprake is van koeling in de brandruimte. Integendeel, de temperatuur in de brandruimte neemt toe van een temperatuur van circa 500 °C, naar een temperatuur van 700 °C. Omwille van veiligheid en materiaalbehoud was dit de temperatuur waarop de inzet werd afgebroken. Zie ook figuur 3-64.

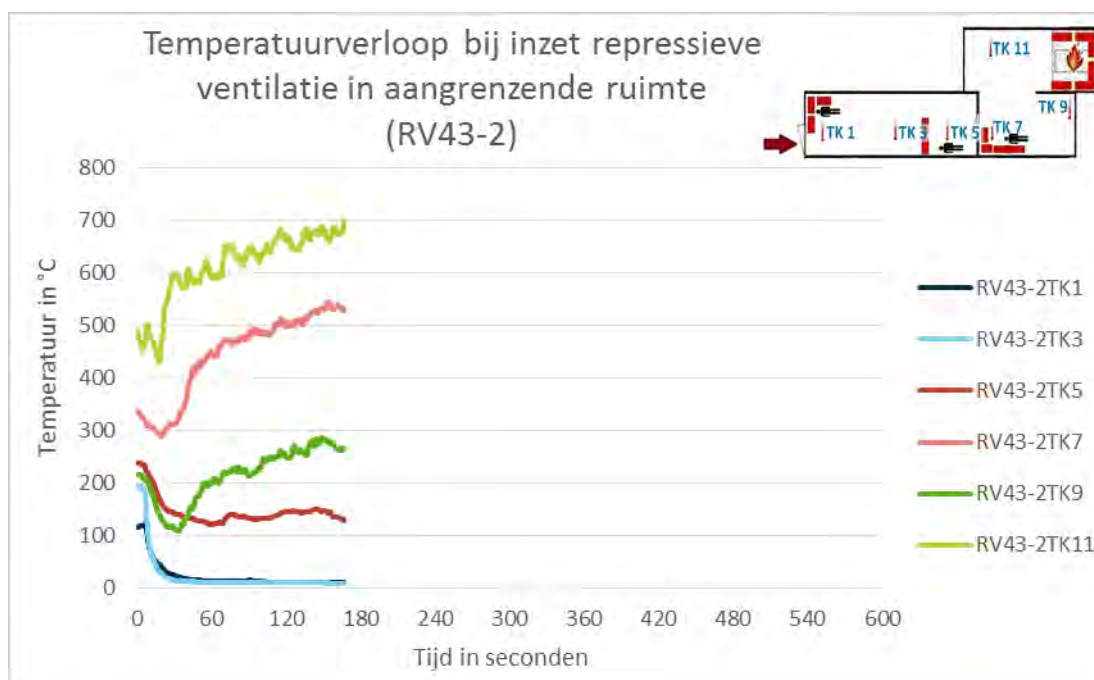


**Figuur 3-64. Temperatuurverloop op referentiethermokoppel 11 bij inzet RV op gebouw met twee ruimten**

Als gekeken wordt naar het temperatuurverloop in beide ruimten, valt op dat in de aangrenzende ruimte (thermokoppel 1-3-5) de temperatuur tijdens de inzet van RV daalt. In de brandruimte (met name thermokoppel 7 en 11) neemt de temperatuur toe. Zie ook figuur 3-65 en figuur 3-66. Thermokoppel 9 laat bij RV43-1 eerst een daling van de temperatuur zien, vervolgens een beperkte stijging en daarna weer een beperkte daling. De eindtemperatuur is daarmee bijna gelijk aan de begintemperatuur. Bij RV43-2 is in eerste instantie sprake van een daling, en daarna van een stijging.



Figuur 3-65. Temperatuurverloop gehele ruimte bij inzet RV op gebouw met twee ruimten (RV43-1)



Figuur 3-66. Temperatuurverloop gehele ruimte bij inzet RV op gebouw met twee ruimten (RV43-2)

### Samengevat

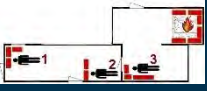
Met RV bij de inzet in het gebouw met twee ruimten kon de temperatuur in de brandruimte niet onder de grens van 150 °C worden gebracht. In de aangrenzende ruimte neemt de temperatuur weliswaar af, maar in de brandruimte neemt deze toe van circa 500 °C naar een temperatuur van 700 °C.

In de aangrenzende ruimte wordt wel een snelle en blijvende koeling bereikt, waarbij de temperatuur onder de 150 °C komt.

## Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid

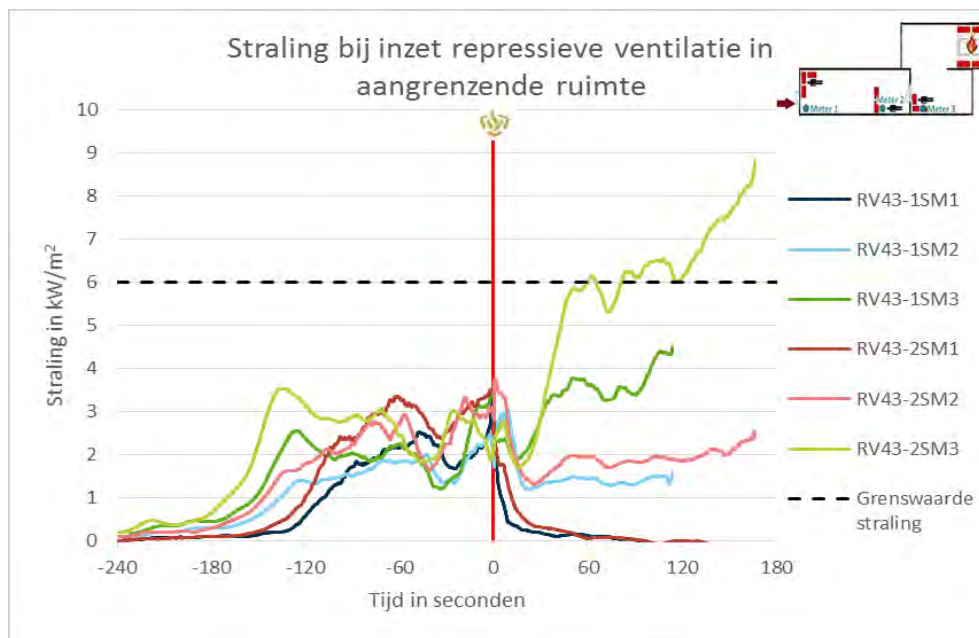
In tabel 3-9 is aangegeven of de grenswaarden voor overleefbaarheid zijn overschreden, en zo ja, of dit in de opstartfase of in de inzetfase is. Uit de tabel blijkt dat temperatuur en stikstofgrenswaarden bij inzet met RV niet worden overschreden. Bij straling wordt de grenswaarde eenmaal bij slachtoffer 3 overschreden. De grenswaarde voor CO wordt voor alle slachtoffers in de opwarm- en de inzetfase overschreden. De grenswaarde voor O<sub>2</sub> wordt tweemaal overschreden in de opwarmfase, maar niet tijdens de inzet.

Tabel 3-9. Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid

		Temperatuur in °C		Straling in kW/m <sup>2</sup>		CO in ppm		O <sub>2</sub> in %		NO <sub>x</sub> in ppm	
		RV 43-1	RV 43-2	RV 43-1	RV 43-2	RV 43-1	RV 43-2	RV 43-1	RV 43-2	RV 43-1	RV 43-2
Slachtoffer 1	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja (O+)	Ja (O+)	Ja (O)	Ja (O)	Nee	Nee
Slachtoffer 2	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja (O+)	Ja (O+)	Nee	Nee	Nee	Nee
Slachtoffer 3	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Ja (I)	Ja (O+)	Ja (O+)	Nee	Ja (O)	Nee	Nee

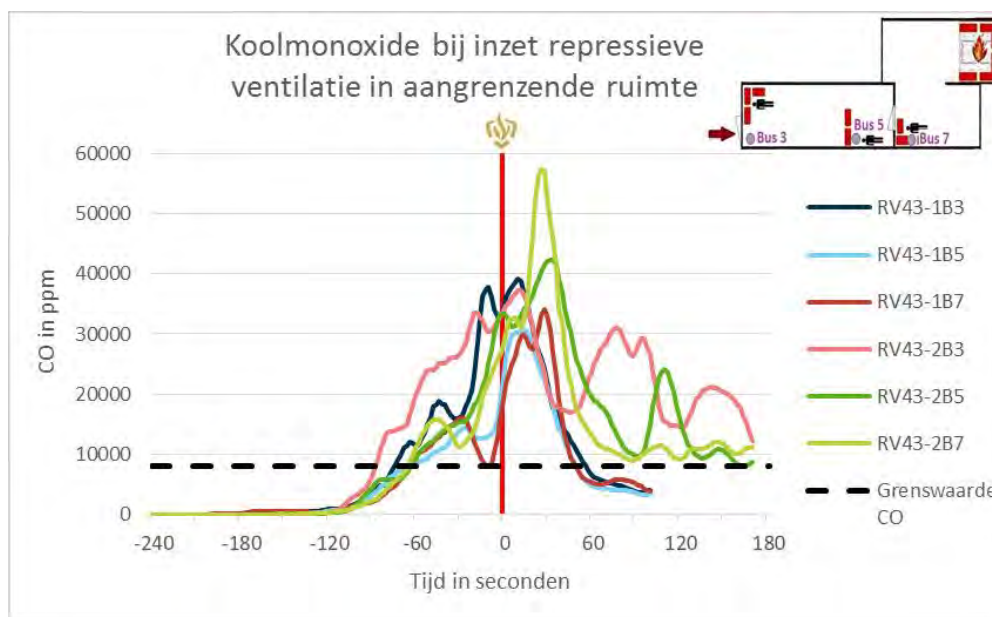
Als nader gekeken wordt naar de straling, is te zien dat de straling min of meer stabiel blijft. Wel is in de brandruimte een toename te zien, waarbij bij één van de twee experimenten de grenswaarde wordt overschreden. Zie ook figuur 3-67.





**Figuur 3-67. Straling op slachtofferniveau bij inzet RV op gebouw met twee ruimten**

Wat betreft CO is er na de inzet een piek te zien, maar is er voorafgaand aan de inzet ook al sprake van een stijgende lijn. Zie ook figuur 3-68.



**Figuur 3-68. Concentratie CO op slachtofferniveau bij inzet RV op gebouw met twee ruimten**

### Conclusie

Voor grenswaarden voor overleefbaarheid op slachtofferniveau kan gesteld worden dat de grenswaarden voor CO wordt overschreden voor alle slachtoffers, zowel in de brandruimte als in de aangrenzende ruimte in de inzetfase. Deze nam echter voor de inzet ook al toe. De grenswaarden voor  $O_2$ , temperatuur en  $NO_x$  worden niet overschreden. Dit geldt ook voor straling, met uitzondering van één experiment, voor het slachtoffer het dichtst bij de vuurhaard.

### Effect na inzet

Bij de inzetten met RV is er geen experiment gedaan om de deur aansluitend te openen, aangezien de maximale temperatuur voor de veiligheid van de constructie en de

meetapparatuur al tijdens de inzet bereikt werd. Zie voor meer achtergrondinformatie bijlage D (paragraaf 4)

## 3.7 Drukluchtschuim (DLS)

### 3.7.1 Inzet op het gebouw met één ruimte

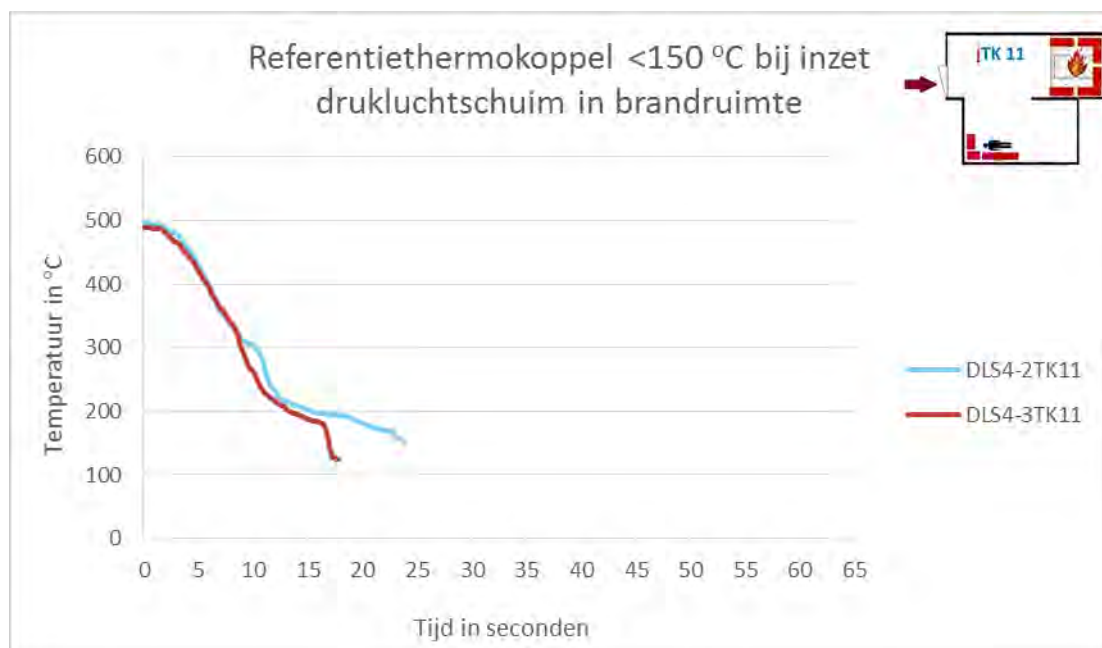
#### Blussing

In experiment DLS4-2 zijn de vlammen na ongeveer 12 seconden neergeslagen. Onderin de vuurhaard blijven na de inzet een paar hittepunten zichtbaar. De brand ontwikkelt zich echter niet verder, en vlammen zijn niet meer zichtbaar. Bij experiment DLS4-3 zijn de vlammen na ongeveer 13 seconden verdwenen. Ook nu blijft er tot het einde van de inzet onderin een verhoogde temperatuur zichtbaar.

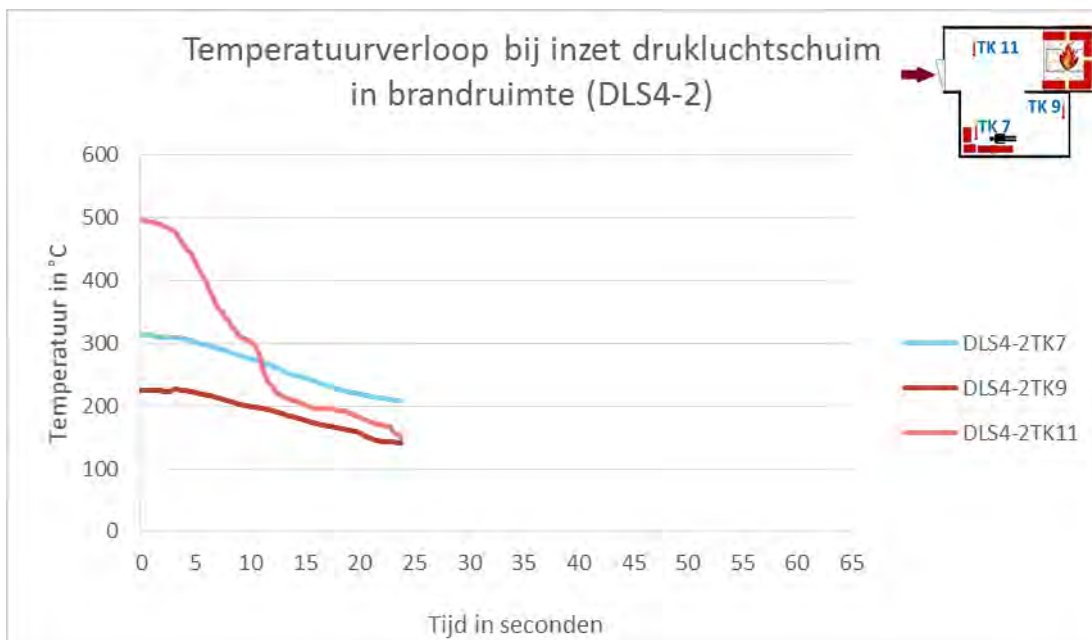
DLS bereikt tijdens de experimenten een knockdown die de gehele inzet in stand blijft, wel blijft er een gloeistadium in de vuurhaard over.

#### Koeling

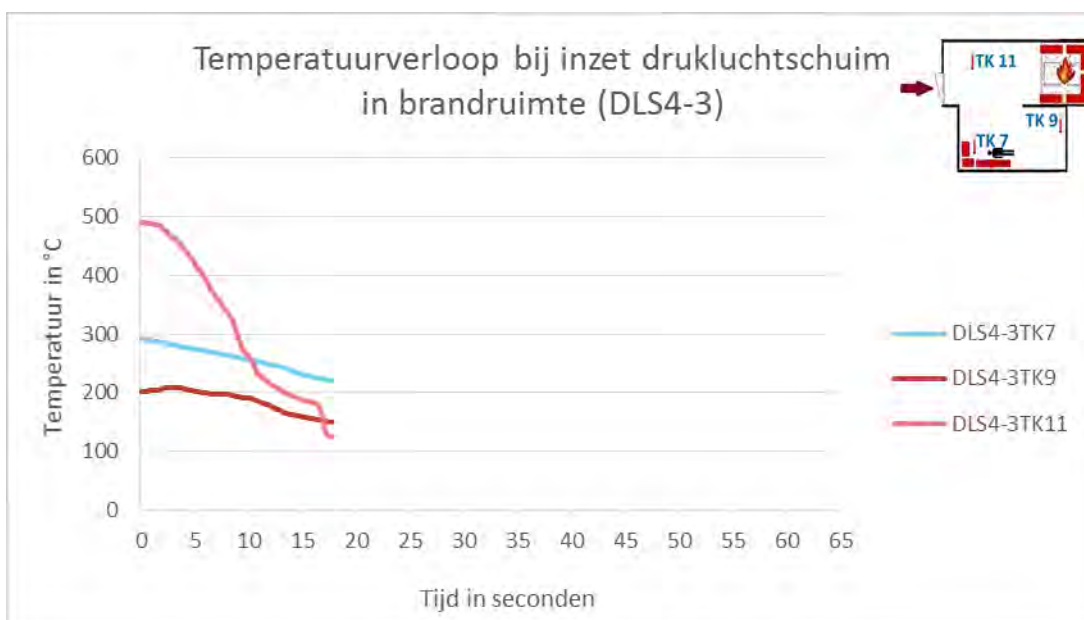
Als gekeken wordt naar de koeling van de rookgassen, dan blijkt dat met DLS bij de ene inzet na 24 seconden en bij de andere inzet na 17 seconden de temperatuur in de brandruimte onder de grens van 150 °C wordt gebracht. Zie ook figuur 3-69.



Figuur 3-69. Temperatuurverloop op referentiethermokoppel 11 bij inzet DLS rechtstreeks in de brandruimte



Figuur 3-70. Temperatuurverloop gehele ruimte bij inzet DLS rechtstreeks in de brandruimte (DLS4-2)



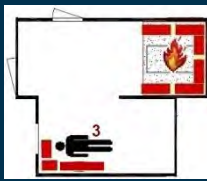
Figuur 3-71. Temperatuurverloop gehele ruimte bij inzet DLS rechtstreeks in de brandruimte (DLS4-3)

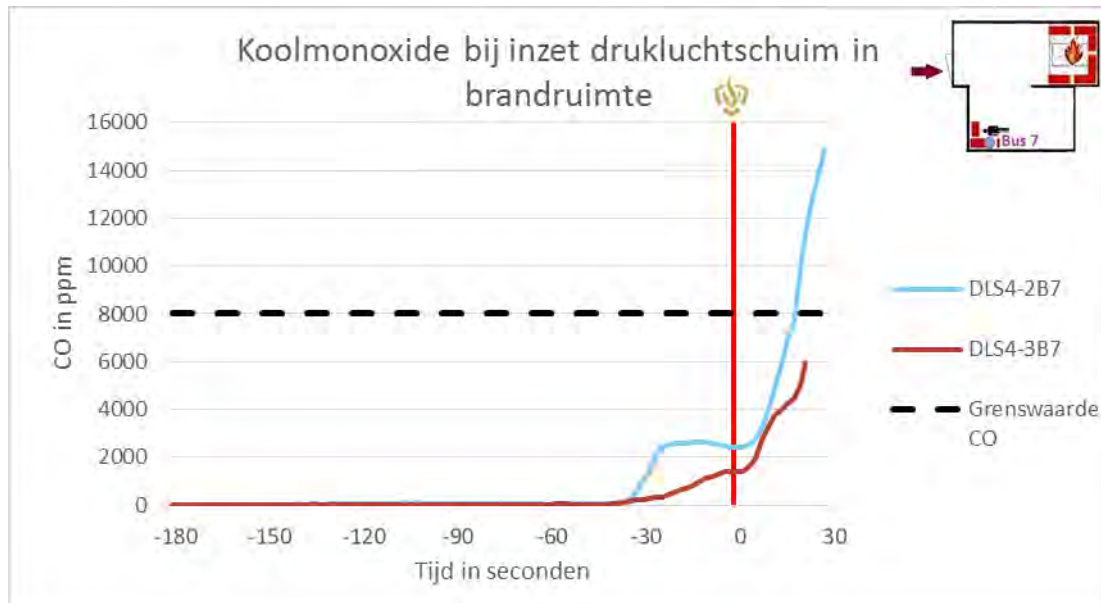
DLS is in staat binnen 17-24 seconden de temperatuur in de brandruimte van circa 500 °C naar een temperatuur onder de 150 °C te brengen.

### Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid

In tabel 3-10 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 bij één inzet met een overschrijding van CO na, de grenswaarden niet worden overschreden.

Tabel 3-10. Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid

	Temperatuur in °C		Straling in kW/m <sup>2</sup>		CO in ppm		O <sub>2</sub> in %		NO <sub>x</sub> in ppm	
	DLS 4-2	DLS 4-3	DLS 4-2	DLS 4-3	DLS 4-2	DLS 4-3	DLS 4-2	DLS 4-3	DLS 4-2	DLS 4-3
<b>Slachtoffer 3</b> Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja (I)	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee



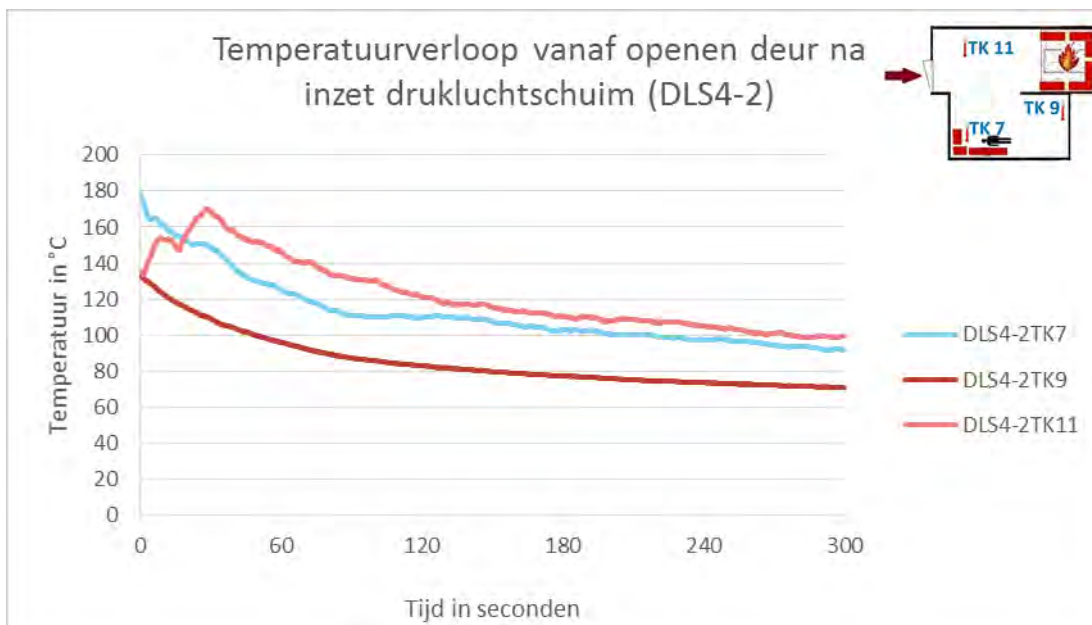
Figuur 3-72. Concentratie CO op slachtofferniveau bij inzet DLS rechtstreeks in de brandruimte

### Samengevat

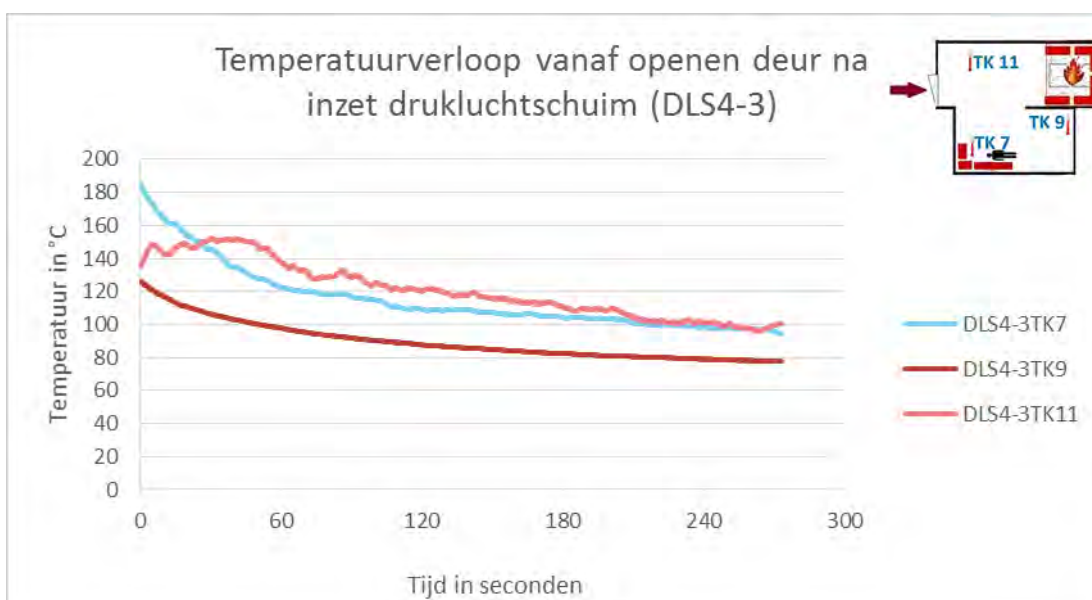
Het lijkt erop dat DLS geen negatief effect heeft op temperatuur, straling, O<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> voor het slachtoffer bij inzet rechtstreeks in de brandruimte. De concentratie CO overschrijdt in één van de twee inzetten de grenswaarde.

### 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. Hoewel er op de beelden enkele kleine vlammen zichtbaar worden na enkele minuten, is erg geen sprake van een echte heroplaging. De brand blijft in het gloeistadium. Dit is ook te zien aan het temperatuurverloop in figuur 3-73 en figuur 3-74.

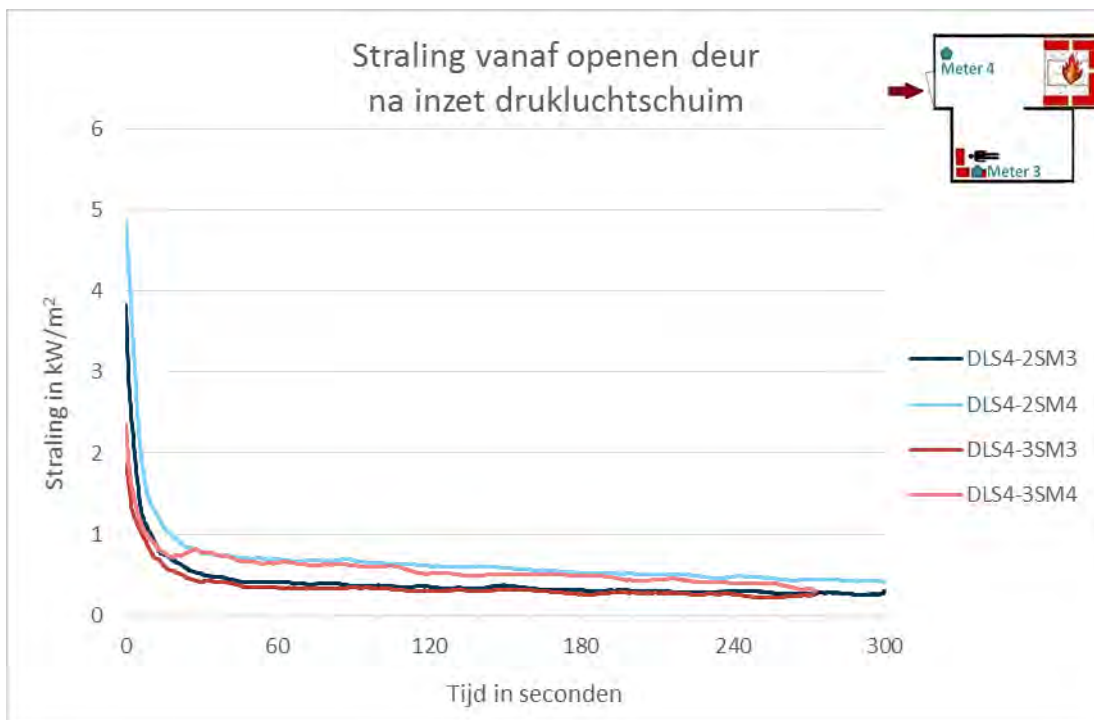


Figuur 3-73. Temperatuurverloop vanaf openen deur na inzet DLS (DLS4-2)

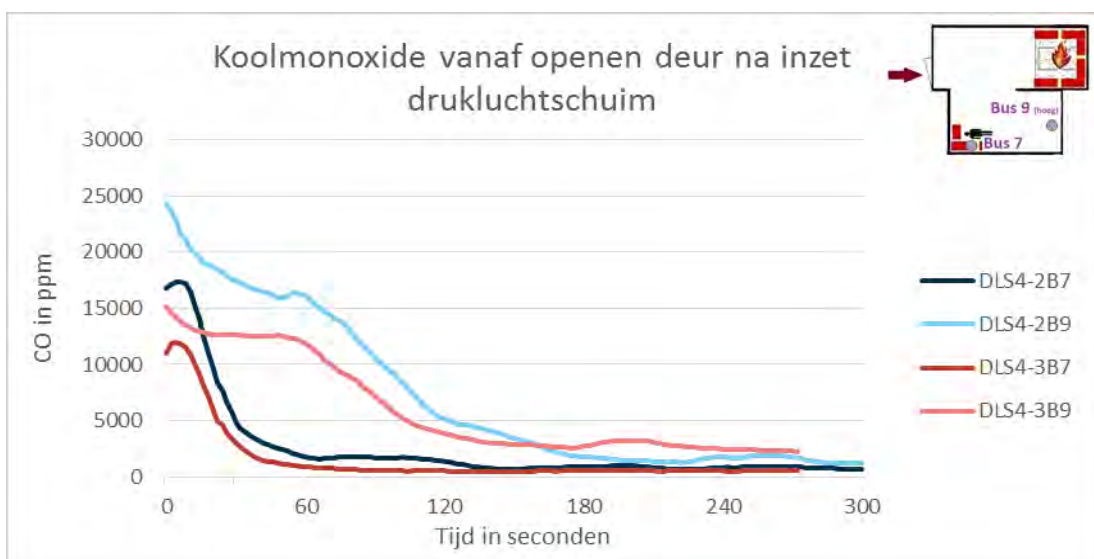


Figuur 3-74. Temperatuurverloop vanaf openen deur na inzet DLS (DLS4-3)

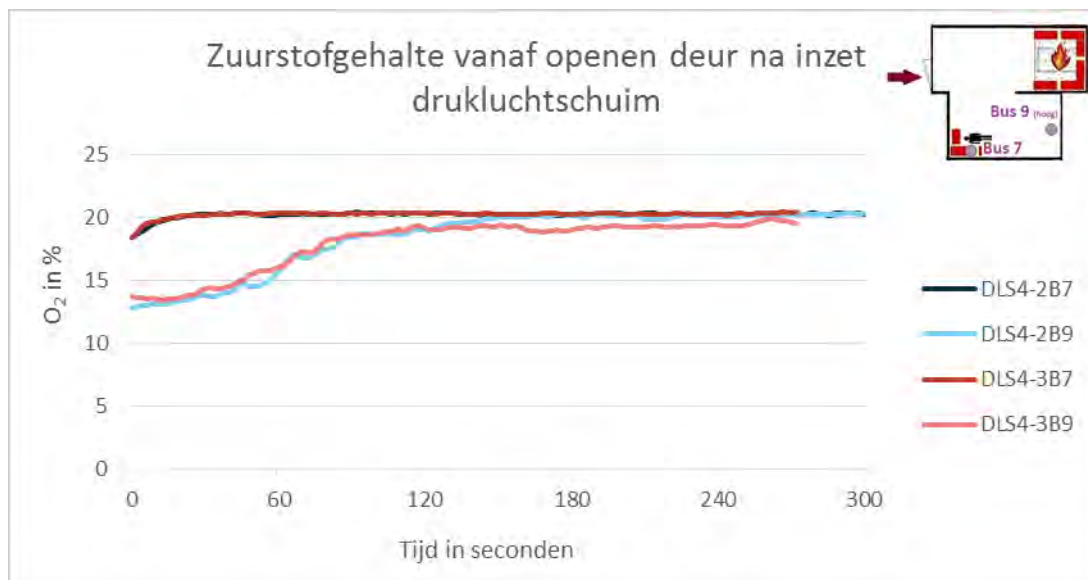
Ook de straling neemt snel af tot bijna nul, het CO-gehalte daalt en de O<sub>2</sub> stijgt. Zie figuur 3-75, figuur 3-76 en figuur 3-77.



Figuur 3-75. Straling vanaf openen deur na inzet DLS



Figuur 3-76. Concentratie CO vanaf openen deur na inzet DLS



Figuur 3-77. O<sub>2</sub>-gehalte vanaf openen deur na inzet DLS

### Samengevat

Na de inzet van DLS en het openen van de deur, is er onder de proefomstandigheden ruim voldoende tijd om over te schakelen op een offensieve binneninzet. Zelfs na 5 minuten wachten is er geen sprake van een heroplaging. De condities binnen verbeteren gedurende deze 5 minuten. Het is dus onder de proefomstandigheden goed mogelijk om over te schakelen op een offensieve binneninzet.

### 3.7.2 Inzet op het gebouw met twee ruimten

#### Blussing

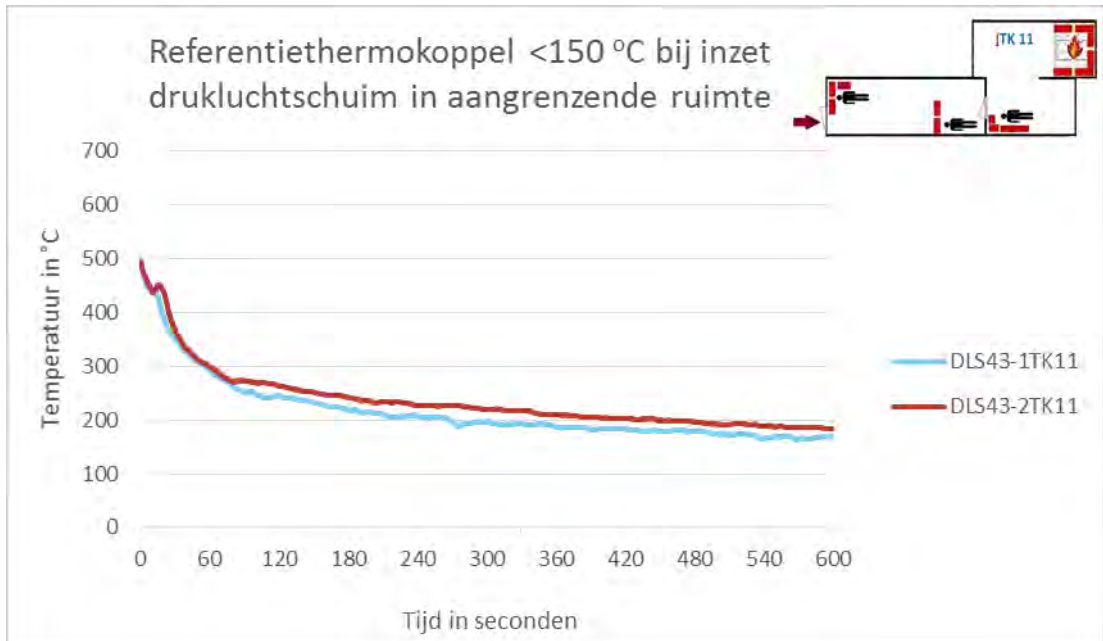
Wanneer DLS in de aangrenzende ruimte wordt ingezet, is bij zowel DLS43-1 als DLS43-2 te zien dat de vuurhaard vermindert in intensiteit. Na 35 (DLS43-1) en 40 seconden (DLS43-2) is er sprake van een knockdown. Wel zijn er in de onderste helft van de vuurhaard nog enkele punten zichtbaar met een verhoogde temperatuur.

Ongeveer 8 minuten na start van de inzet bij DLS 43-1, is op de warmtebeeldcamera te zien dat de vuurhaard weer voorzichtig begint te branden. Bij DLS 43-2 is dit niet het geval.

Bij de inzet in de aangrenzende ruimte zorgt DLS voor een knockdown van de vlammen binnen 35 tot 40 seconden. De intensiteit van de vuurhaard wordt sterk teruggebracht. Er blijven echter enkele gloeibranden aanwezig, waardoor de vuurhaard na verloop van tijd weer begint te branden.

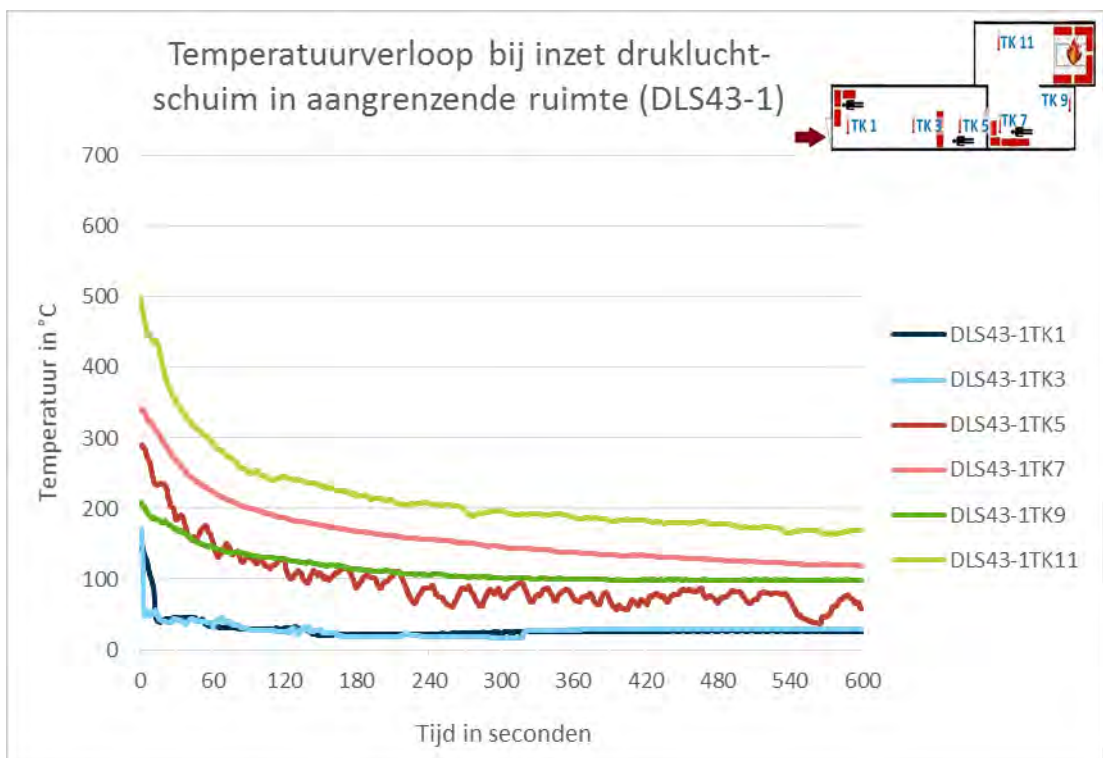
#### Koeling

Als gekeken wordt naar de koeling van de rookgassen, dan blijkt dat bij de inzet met DLS bij beide inzetten er sprake is van een geleidelijke daling in temperatuur. Binnen de maximale inzettijd van 10 minuten lukt het echter niet, om bij het gebouw met twee ruimten de temperatuur in de brandruimte onder de grens van 150 °C te brengen. Zie ook figuur 3-78. De eindtemperatuur bij DLS 43-1 is 169 °C en bij DLS 43-2 185 °C.



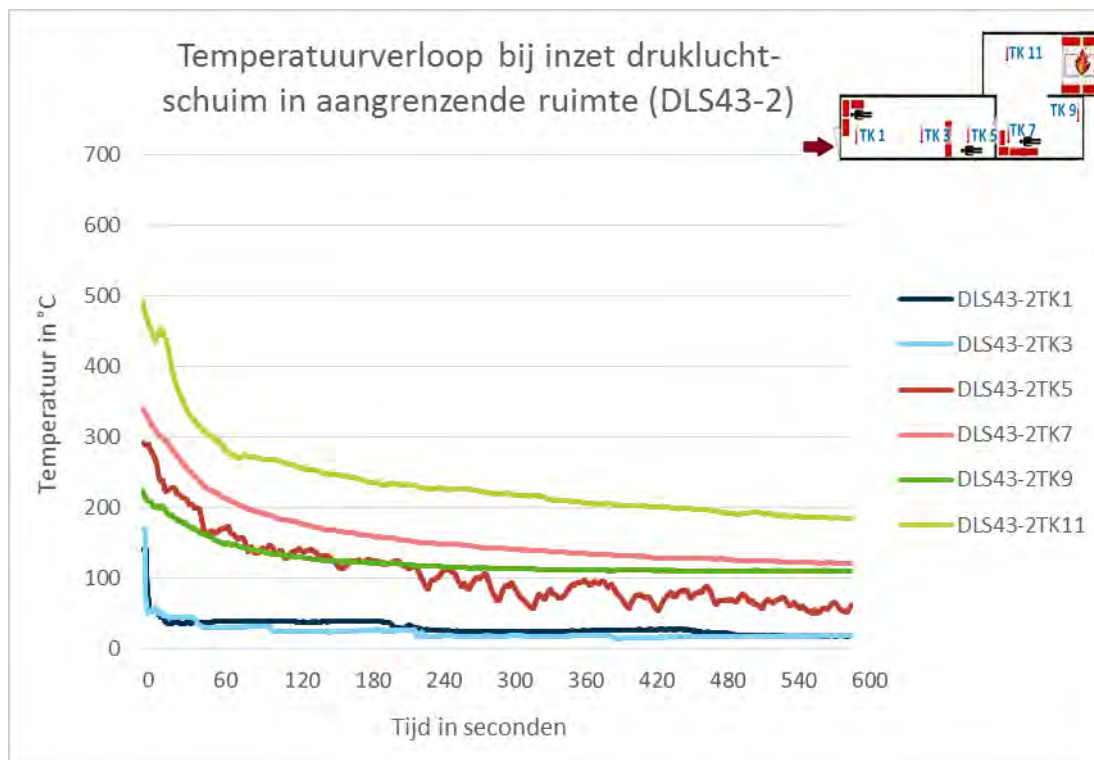
**Figuur 3-78.** Temperatuurverloop op referentiethermokoppel 11 bij inzet DLS op gebouw met twee ruimten

Als gekeken wordt naar het temperatuurverloop in de gehele container, is te zien dat de temperatuur in de aangrenzende ruimte snel onder de  $150\text{ }^\circ\text{C}$  komt en dat de rest van de inzet blijft. Op de overige thermokoppels is sprake van een gestage daling, maar is de inzetijd van 10 minuten niet voldoende om het stopcriterium van  $150\text{ }^\circ\text{C}$  op TK11 te bereiken. Zie ook figuur 3-79 en figuur 3-80.



**Figuur 3-79.** Temperatuurverloop gehele ruimte bij inzet DLS op gebouw met twee ruimten (DLS43-1)





Figuur 3-80. Temperatuurverloop gehele ruimte bij inzet DLS op gebouw met twee ruimten (DLS43-2)

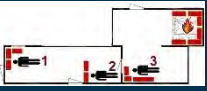
#### Conclusie

DLS is weliswaar in staat een substantiële koeling te creëren tot ruim onder de 200 °C, maar krijgt de temperatuur niet binnen de 10 minuten van de inzet onder de grenswaarde van 150 °C. In de aangrenzende ruimte wordt wel een snelle en blijvende koeling bereikt, waarbij de temperatuur onder de 150 °C komt.

#### Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid

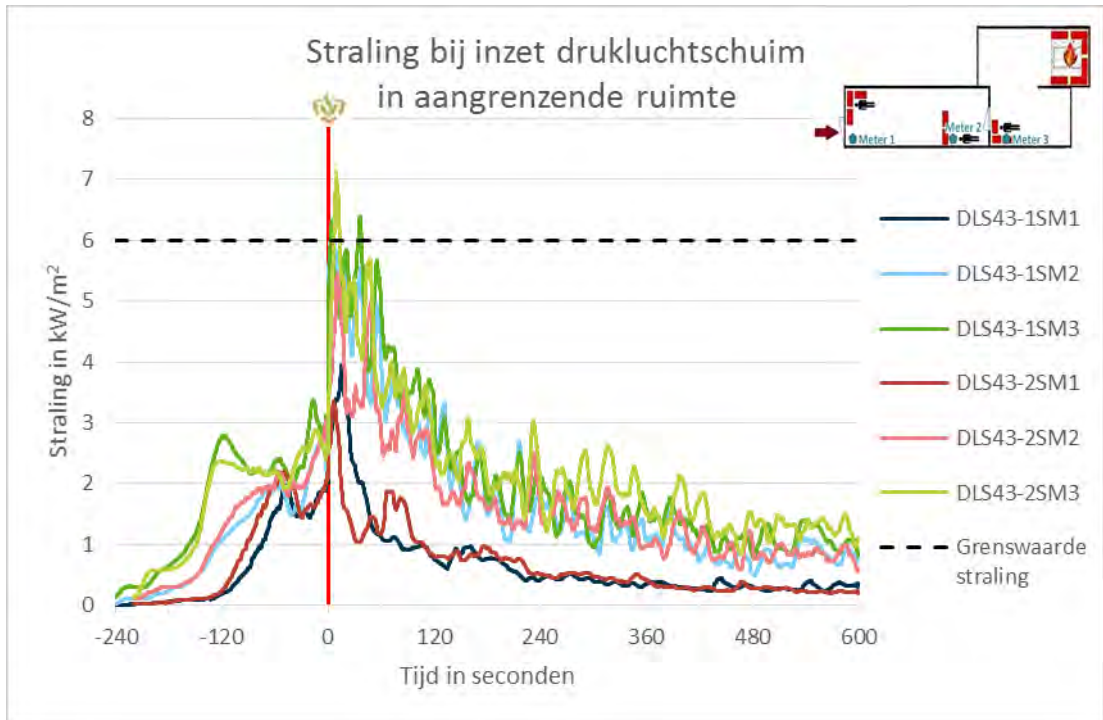
In tabel 3-11 is aangegeven of de grenswaarden voor overleefbaarheid zijn overschreden, en zo ja, of dit in de opstartfase of in de inzetfase is. Uit de tabel blijkt dat temperatuur en O<sub>2</sub>grenswaarde bij inzet met DLS in de inzetfase niet wordt overschreden. Wel wordt de grenswaarde voor straling voor vrijwel alle slachtoffers in de inzetfase overschreden. De grenswaarde voor CO wordt zowel in de opwarm- als de inzetfase overschreden, maar neemt af vanaf het moment van inzetten. De waarde van NO<sub>x</sub> geeft een wisselend beeld.

Tabel 3-11. Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid

		Temperatuur in °C		Straling in kW/m <sup>2</sup>		CO in ppm		O <sub>2</sub> in %		NO <sub>x</sub> in ppm		
		DLS 43-1	DLS 43-2	DLS 43-1	DLS 43-2	DLS 43-1	DLS 43-2	DLS 43-1	DLS 43-2	DLS 43-1	DLS 43-2	
<b>Slachtoffer 1</b>	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O)	Nee	Nee	Nee	
	<b>Slachtoffer 2</b>	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Ja (I)	Nee	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Nee	Nee	Nee	Nee
		<b>Slachtoffer 3</b>	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Ja (I)	Ja (I)	Ja (O+I)	*	Nee	*	Nee

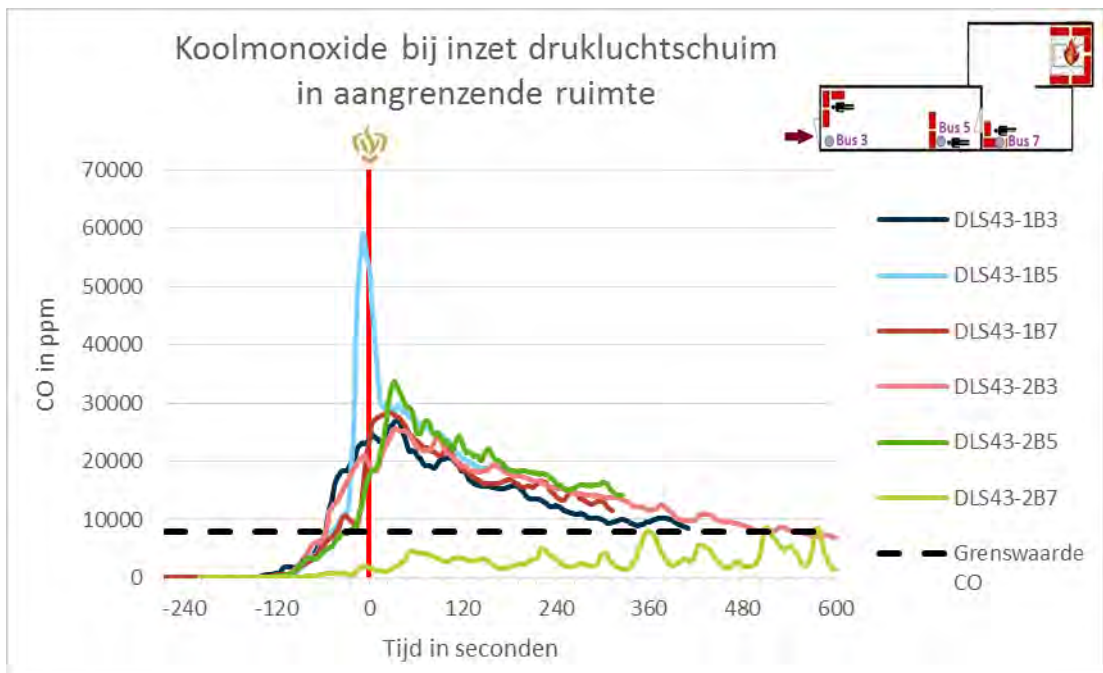
Bij experiment DLS 43-2 heeft de probe van het gasmeetapparaat (Testo) niet goed gezeten bij slachtoffer 3, waardoor de waarden voor de buitenlucht zijn gemeten en niet de waarden in de container. Daarom zijn voor de analyse van de gassen (CO, O<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub>) bij de inzet van DLS bij slachtoffer 3 uitsluitend de waarden van DLS 43-1 meegenomen.

Als gekeken wordt naar de straling, valt op dat de straling met name bij meter 2 en 3 (in en voor de brandruimte) toeneemt, precies vanaf de start van de inzet. Zie ook figuur 3-81. Hierbij wordt voor beide inzetten de grenswaarde bij slachtoffer 3 overschreden, en eenmaal bij slachtoffer 2.



**Figuur 3-81. Straling op slachtofferniveau bij inzet DLS op gebouw met twee ruimten**

Bij CO is te zien dat er een piek plaatsvindt kort voor de start van de inzet (vermoedelijk als gevolg van het sluiten van de deuren). De overschrijding in de inzetfase is het gevolg van deze piek. Het CO-gehalte neemt vanaf de start van de inzet snel af. Zie figuur 3-82.



**Figuur 3-82. Concentratie CO op slachtofferniveau bij inzet DLS op gebouw met twee ruimten**

## Conclusie

De grenswaarde voor CO voor alle slachtoffers wordt in de inzetfase overschreden, deze nam echter ook voor de inzet al toe. De temperatuur en O<sub>2</sub>-gehalte op slachtofferniveau blijven onder de grenswaarde. Bij straling wordt de grenswaarde overschreden voor het slachtoffer het dichtst bij de vuurhaard, en eenmaal voor het slachtoffer halverwege. De meting voor NO<sub>x</sub> komt niet boven de grenswaarde uit, maar hierbij moet worden opgemerkt dat de meting niet betrouwbaar is omdat de meetapparatuur is uitgevallen tijdens de inzet.

## Effect na inzet

In de onderzoeksofzet is uitgegaan van het openen van een deur na een succesvolle offensieve buiteninzet, om zo het effect van het overschakelen naar een binneninzet te simuleren. Aangezien DLS in dit scenario ondanks de dalende temperatuur niet in staat is gebleken een succesvolle offensieve buiteninzet te doen (binnen de experimentofzet de temperatuur <150 °C brengen), zijn de resultaten van het openen van de deur uitsluitend als achtergrondinformatie opgenomen in bijlage D (paragraaf 5).

## 3.8 Lage druk (LD)

### 3.8.1 Inzet op het gebouw met één ruimte

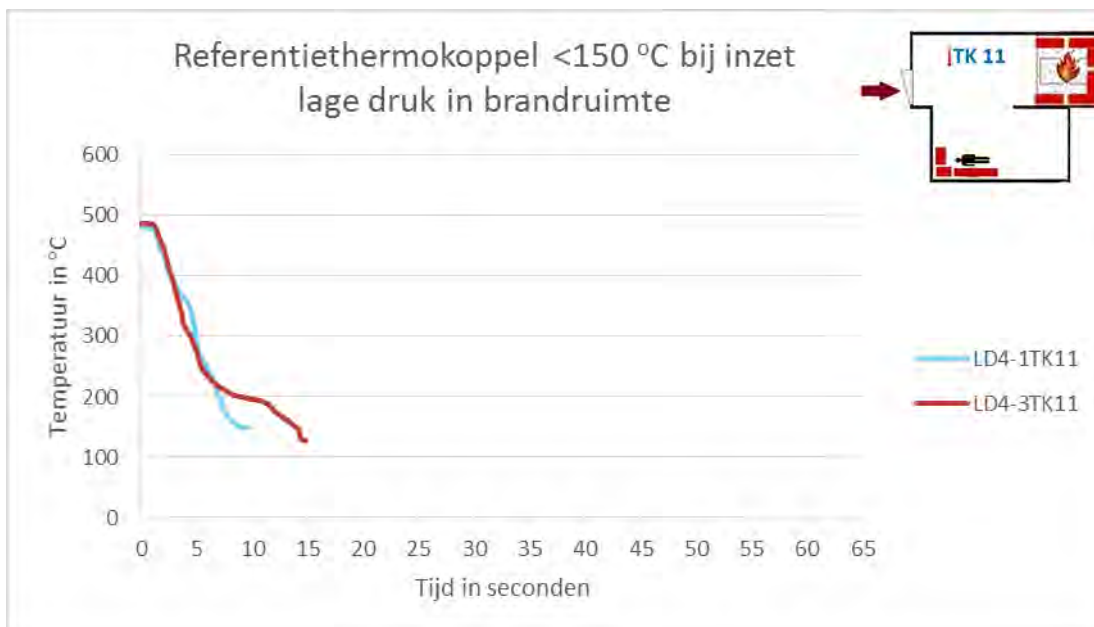
#### Blussing

Met 5 seconden zijn er bij de eerste inzet (LD4-1) geen vlammen meer zichtbaar. Onderin de vuurhaard blijven twee kleine en beperkte gloeibranden zichtbaar. In experiment LD4-3 zijn na ongeveer 7 seconden na start van de inzet geen vlammen meer zichtbaar. Bij dit experiment zijn er geen gloeibranden meer zichtbaar.

Met LD inzet wordt er een knockdown gecreëerd gedurende de gehele inzet en worden ook de gloeibranden beperkt.

#### Koeling

Als gekeken wordt naar de koeling van de rookgassen, dan blijkt dat met LD bij de ene inzet na 9 seconden en bij de andere inzet na 14 seconden de temperatuur in de brandruimte onder de grens van 150 °C wordt gebracht. Zie ook figuur 3-83.

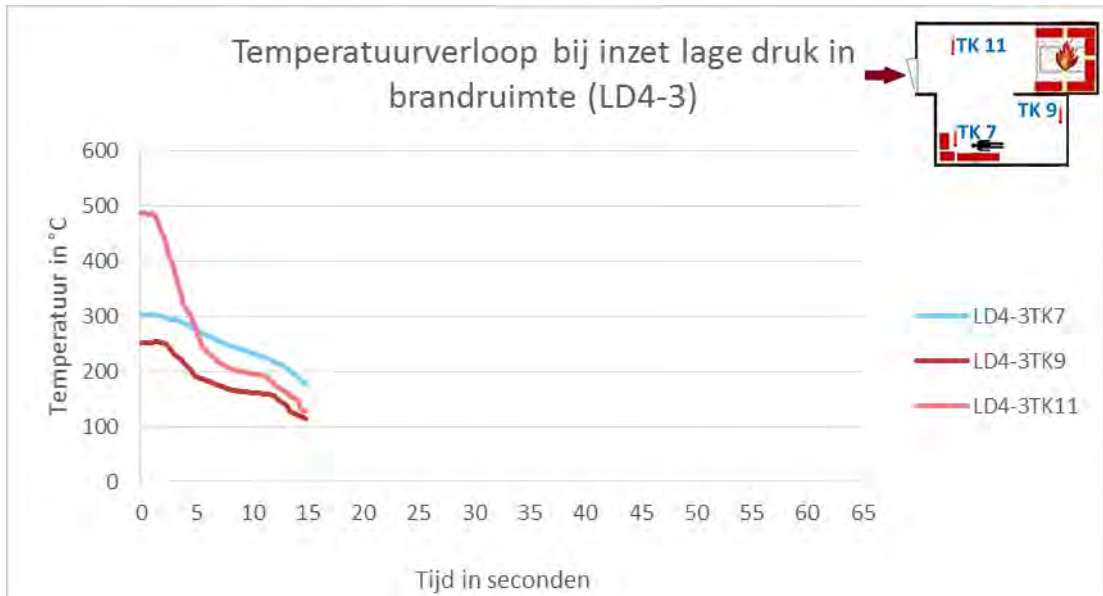


**Figuur 3-83. Temperatuurverloop op referentiethermokoppel 11 bij inzet LD rechtstreeks in de brandruimte**

Ook in de andere ruimten daalt de temperatuur, zoals te zien is in figuur 3-84 en figuur 3-85.



**Figuur 3-84. Temperatuurverloop gehele ruimte bij inzet LD rechtstreeks in de brandruimte (LD4-1)**



**Figuur 3-85. Temperatuurverloop gehele ruimte bij inzet LD rechtstreeks in de brandruimte (LD4-3)**

Met LD wordt binnen 9-14 seconden de temperatuur in de ruimte van circa 500 °C naar een temperatuur onder de 150 °C gebracht.

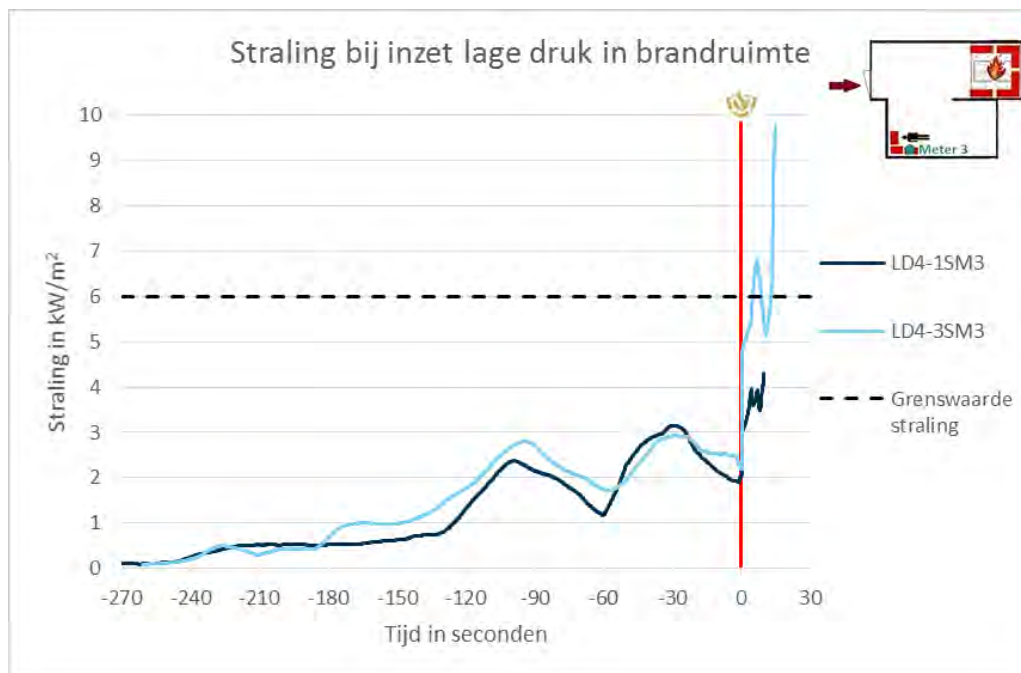
### Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid

In tabel 3-12 is aangegeven of de grenswaarden voor overleefbaarheid zijn overschreden, en zo ja, of dit in de opstartfase of in de inzelffase is. Uit de tabel blijkt dat de grenswaarden voor temperatuur, O<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> niet worden overschreden. De grenswaarde voor straling wordt wel overschreden, evenals eenmaal voor CO.

**Tabel 3-12. Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid**

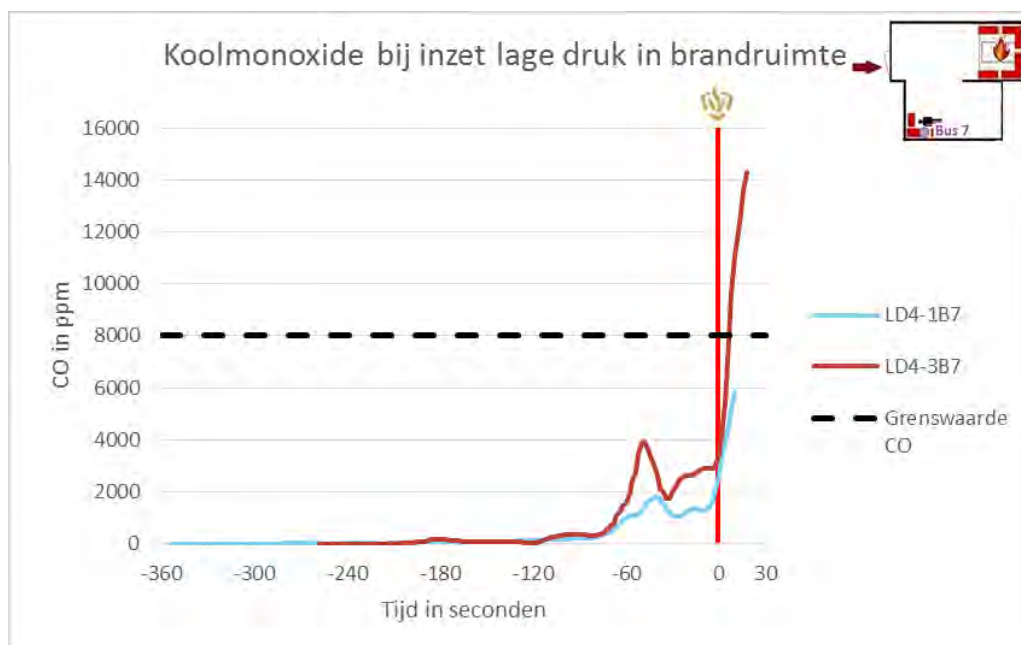
		Temperatuur in °C		Straling in kW/m <sup>2</sup>		CO in ppm		O <sub>2</sub> in %		NO <sub>x</sub> in ppm	
		LD 4-1	LD 4-3	LD 4-1	LD 4-3	LD 4-1	LD 4-3	LD 4-1	LD 4-3	LD 4-1	LD 4-3
<b>Slachtoffer 3</b>	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Ja (I)	Nee	Ja (I)	Nee	Nee	Nee	Nee

Nadere analyse laat zien dat na de start van de inzet de straling bij één van de inzetten stijgt tot boven de grenswaarde van 6kW/m<sup>2</sup>. Bij de andere inzet stijgt deze ook. Het experiment wordt echter beëindigd vanwege het bereiken van de doelstelling van voldoende koeling, voordat de straling verder kan stijgen. Dit is weergegeven in figuur 3-86.



Figuur 3-86. Straling op slachtofferniveau bij inzet LD rechtstreeks in de brandruimte

Het CO-gehalte neemt bij één van de twee inzetten na de start van de inzet toe tot boven de grenswaarde. Dit is te zien in figuur 3-87.



Figuur 3-87. Concentratie CO op slachtofferniveau bij inzet LD rechtstreeks in de brandruimte

### Samengevat

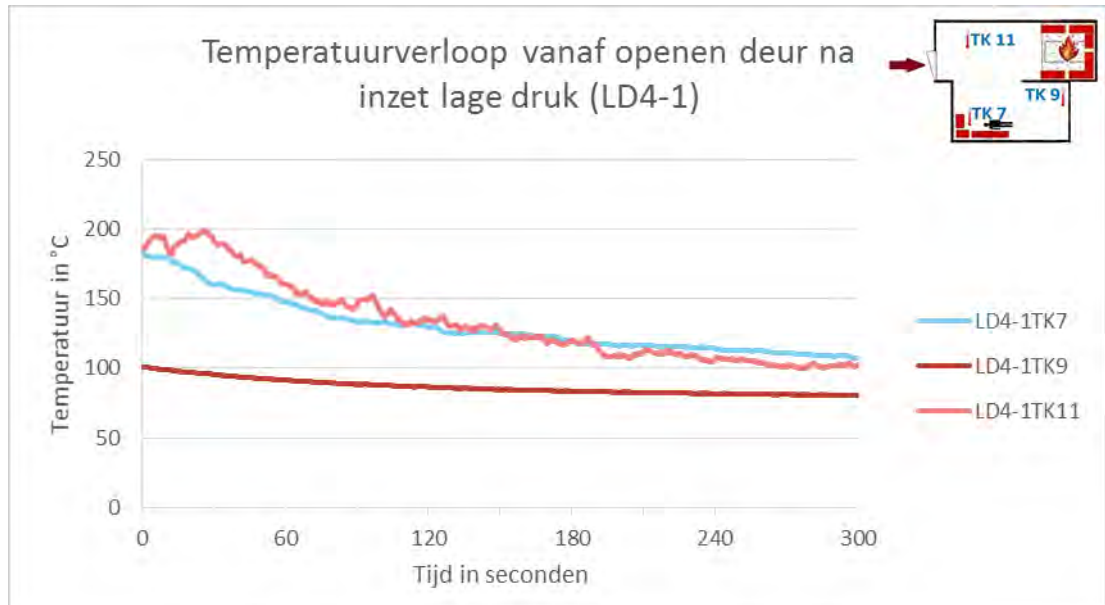
Het lijkt erop dat LD geen negatief effect heeft op temperatuur,  $O_2$  en  $NO_x$  voor het slachtoffer. Bij CO wordt in één van de twee inzetten de grenswaarde overschreden. Of dit het gevolg is van de inzet is niet met zekerheid te zeggen.

Ook bij straling neemt deze tijdens één van de twee inzetten toe tot boven de grenswaarde.

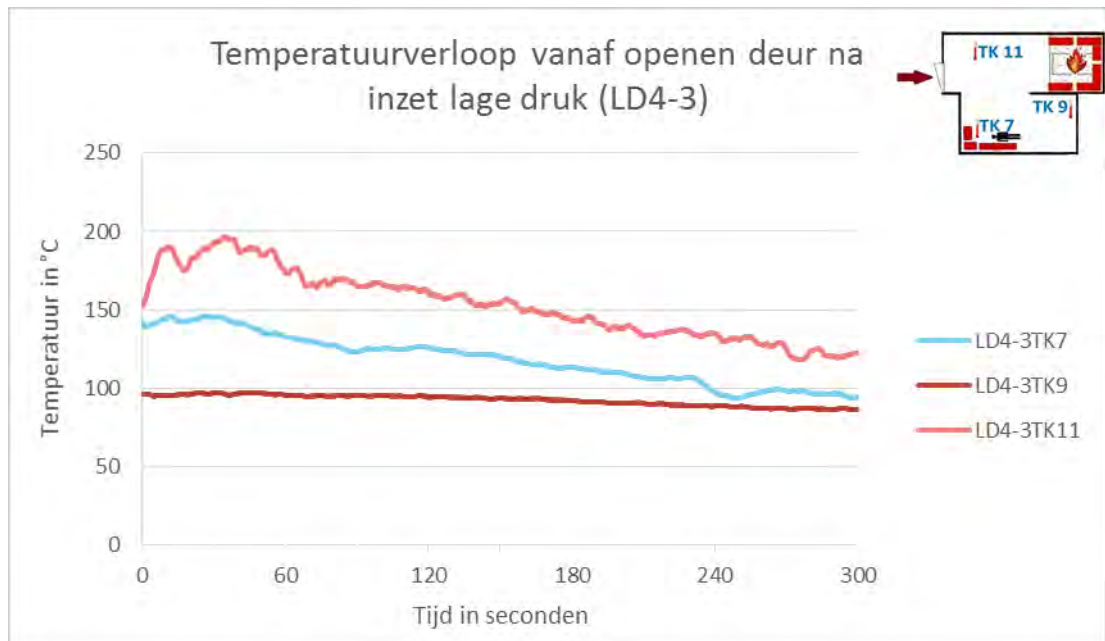
### Effect na inzet

Er is gekeken naar het effect van het stoppen van de offensieve buiteninzet en het openen van een deur voor de offensieve binneninzet. In beide inzetten is een gestage afname van

de temperatuur te zien. Van een heroplaaiing is bij beide inzetten geen sprake. Zie figuur 3-88 en figuur 3-89.



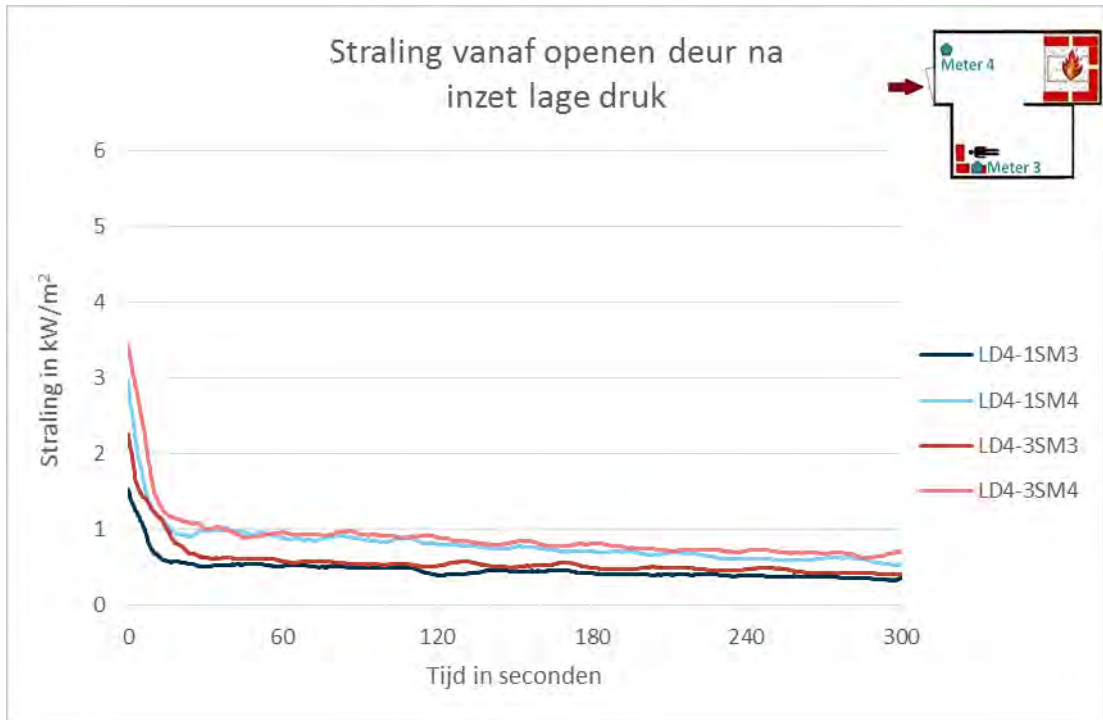
Figuur 3-88. Temperatuurverloop vanaf openen deur na inzet LD (LD4-1)



Figuur 3-89. Temperatuurverloop vanaf openen deur na inzet LD (LD4-3)

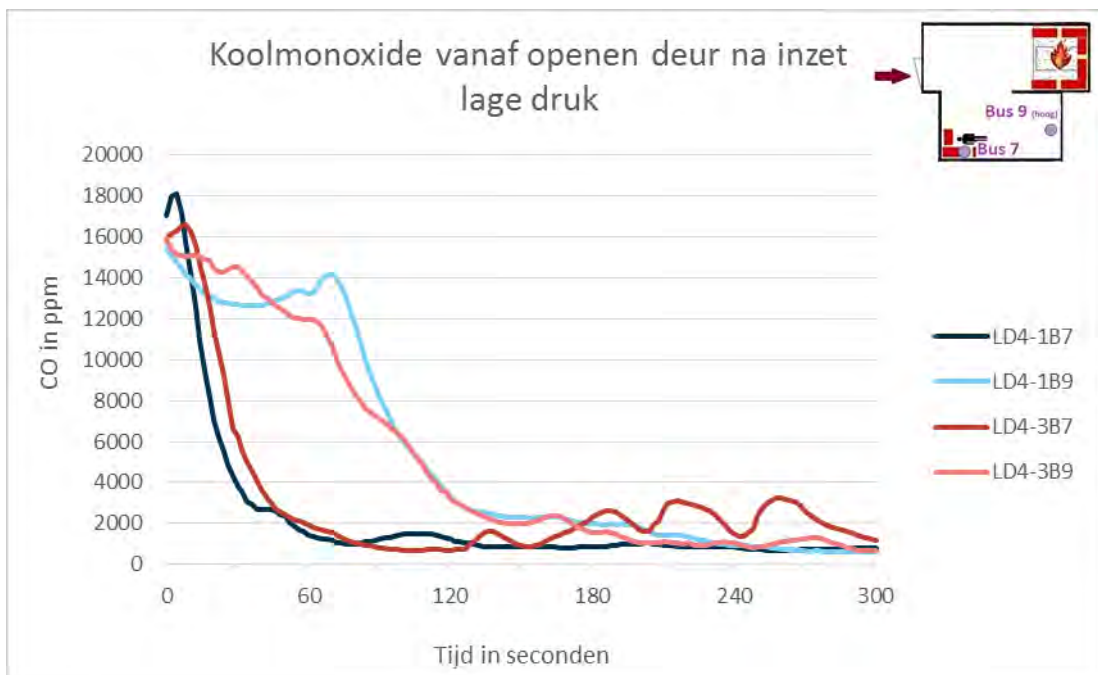
In figuur 3-90 is weergegeven dat de straling snel afneemt na het openen van de deur en laag blijft.



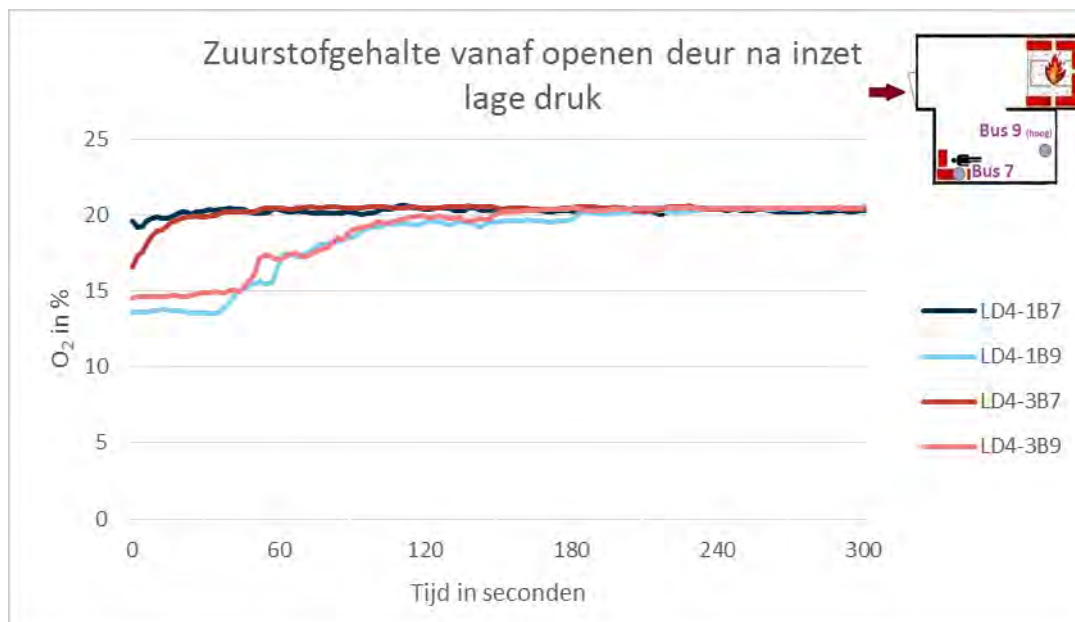


**Figuur 3-90. Straling vanaf openen deur na inzet LD**

Ook het CO-gehalte daalt (figuur 3-91) en de O<sub>2</sub> neemt toe (figuur 3-92).



**Figuur 3-91. Concentratie CO vanaf openen deur na inzet LD**



Figuur 3-92. O<sub>2</sub>gehalte vanaf openen deur na inzet LD

### Samengevat

Na de inzet van LD en het openen van de deur, is er onder de proefomstandigheden ruim voldoende tijd om over te schakelen op een offensieve binneninzet. Zelfs na 5 minuten wachten is er geen sprake van een heroplaaiing. De condities binnen verbeteren gedurende deze 5 minuten. Het is dus onder de proefomstandigheden goed mogelijk om over te schakelen op een offensieve binneninzet.

## 3.8.2 Inzet op het gebouw met twee ruimten

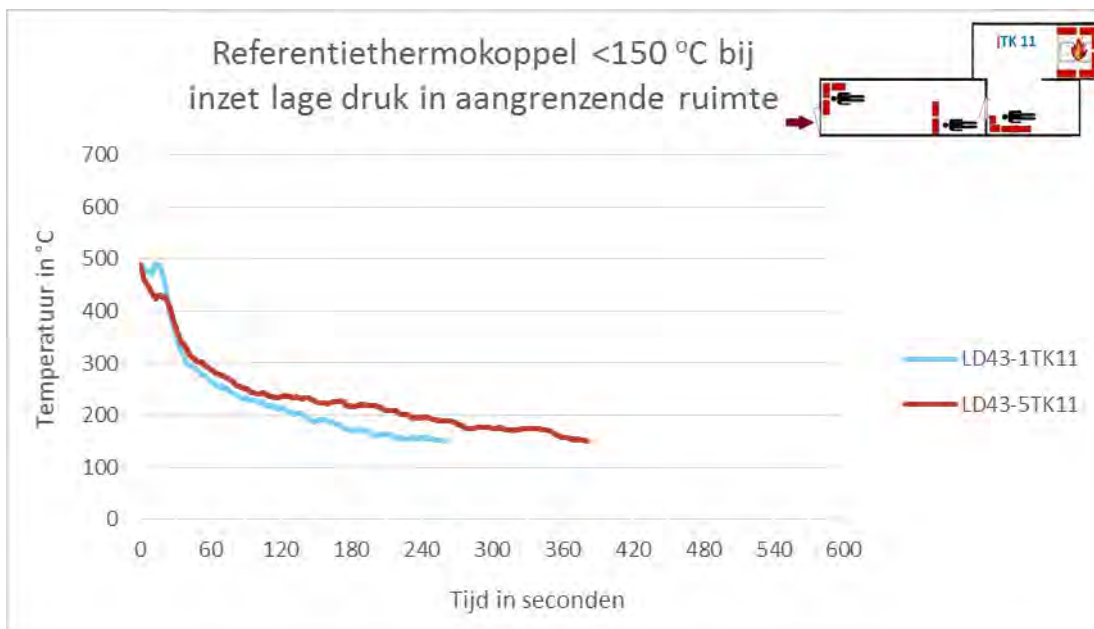
### Blussing

Bij de inzet van LD is er na ongeveer 25 seconden (LD43-1) en 22 seconden (LD43-2) sprake van een knockdown die in stand blijft gedurende de inzet. Wel zijn er beperkt gloeiverschijnselen zichtbaar.

De inzet van LD in de aangrenzende ruimte zorgt binnen 22-25 seconden voor een knockdown die in stand blijft gedurende de inzet.

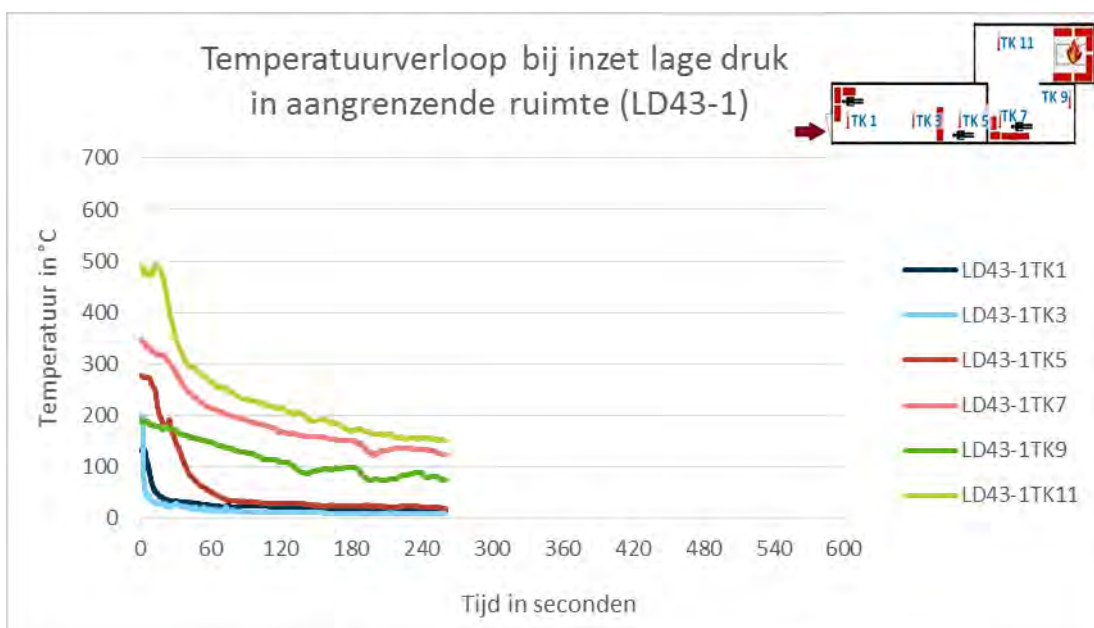
### Koeling

Als gekeken wordt naar de koeling van de rookgassen, dan blijkt dat bij de inzet met LD bij beide inzetten er sprake is van een snelle daling in temperatuur. Bij de eerste inzet duurt het 259 seconden en bij de tweede inzet 381 seconden om de temperatuur in de brandruimte onder de 150 °C te brengen. Zie ook figuur 3-93.

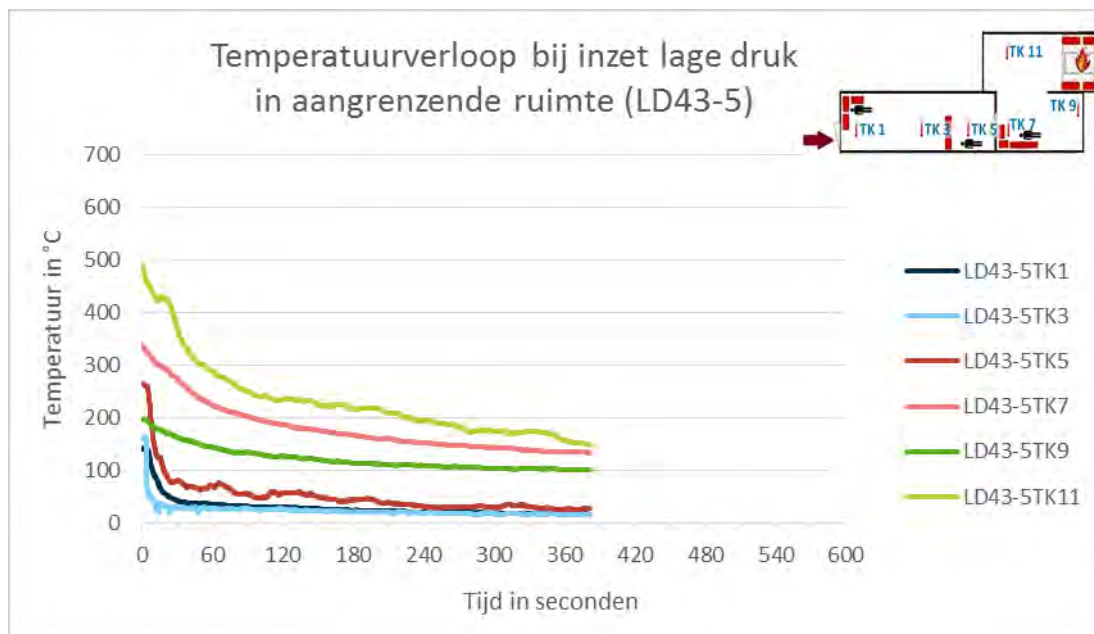


**Figuur 3-93. Temperatuurverloop op referentiethermokoppel 11 bij inzet LD op gebouw met twee ruimten**

Ook in de aangrenzende ruimte blijkt er sprake van een daling. Zie figuur 3-94 en figuur 3-95.



**Figuur 3-94. Temperatuurverloop gehele ruimte bij inzet LD op gebouw met twee ruimten (LD43-1)**



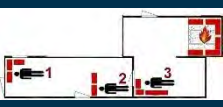
**Figuur 3-95. Temperatuurverloop gehele ruimte bij inzet LD op gebouw met twee ruimten (LD43-5)**

Met LD wordt binnen 259-381 seconden de temperatuur in de brandruimte van circa 500 °C, naar een temperatuur onder de 150 °C gebracht. In de aangrenzende ruimte wordt een snelle en blijvende koeling bereikt, waarbij de temperatuur onder de 150 °C komt.

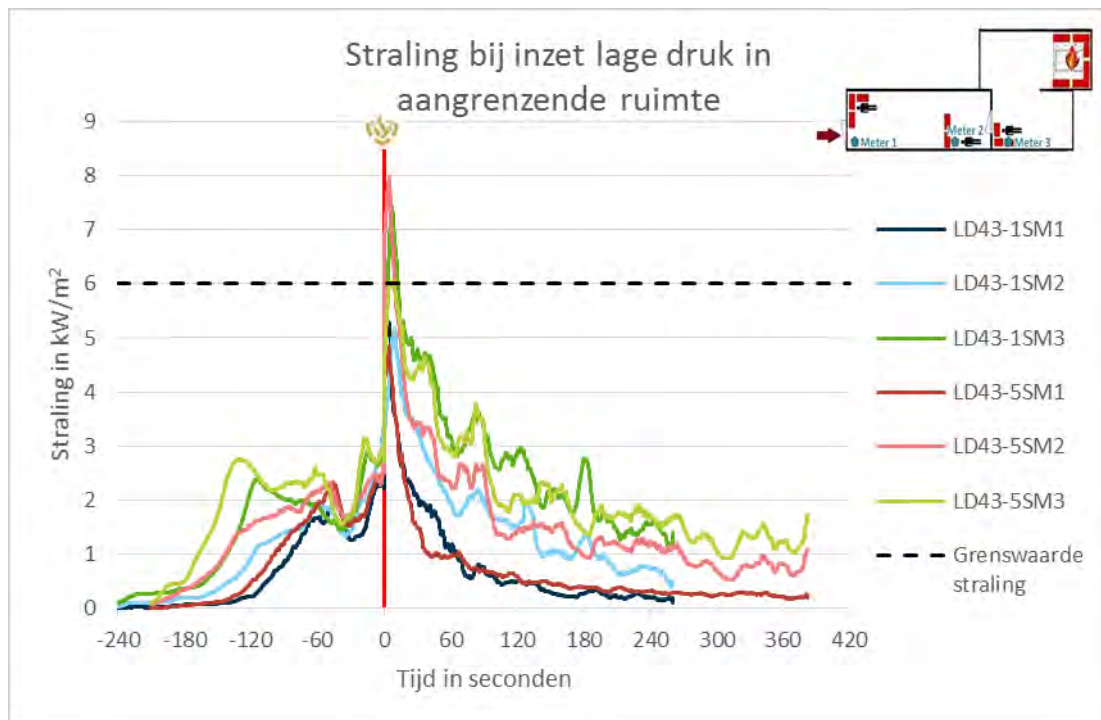
### Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid

In tabel 3-13 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 O<sub>2</sub>, temperatuur- en stikstofgrenswaarde bij inzet met LD in de inzetfase niet wordt overschreden. Wel wordt de grenswaarde voor straling bij slachtoffer 3 en eenmaal bij slachtoffer 2 in de inzetfase overschreden. De grenswaarde voor CO wordt bij alle slachtoffers overschreden.

Tabel 3-13. Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid

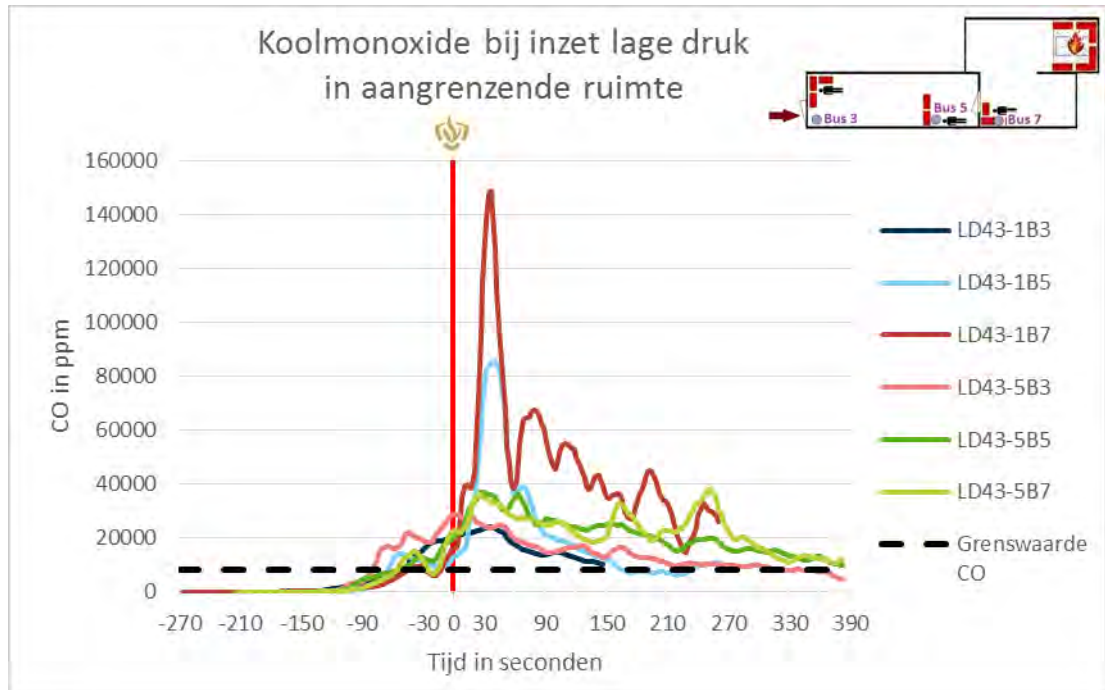
		Temperatuur in °C		Straling in kW/m <sup>2</sup>		CO in ppm		O <sub>2</sub> in %		NO <sub>x</sub> in ppm	
		LD 43-1	LD 43-5	LD 43-1	LD 43-5	LD 43-1	LD 43-5	LD 43-1	LD 43-5	LD 43-1	LD 43-5
<b>Slachtoffer 1</b>	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Nee	Ja (O)	Nee	Nee
<b>Slachtoffer 2</b>	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Ja (I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Nee	Nee	Nee	Nee
<b>Slachtoffer 3</b>	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Ja (I)	Ja (I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Nee	Nee	Nee	Nee

Uit figuur 3-96 blijkt dat de pieken in de straling tot maximaal 8kW/m<sup>2</sup> direct volgen op de start van de offensieve buiteninzet met LD.



Figuur 3-96. Straling op slachtofferniveau bij inzet LD op gebouw met twee ruimten

Bij CO is weliswaar een lichte stijging te zien voorafgaand aan de inzet, maar de piek volgt na de start van de inzet. Zie figuur 3-97.



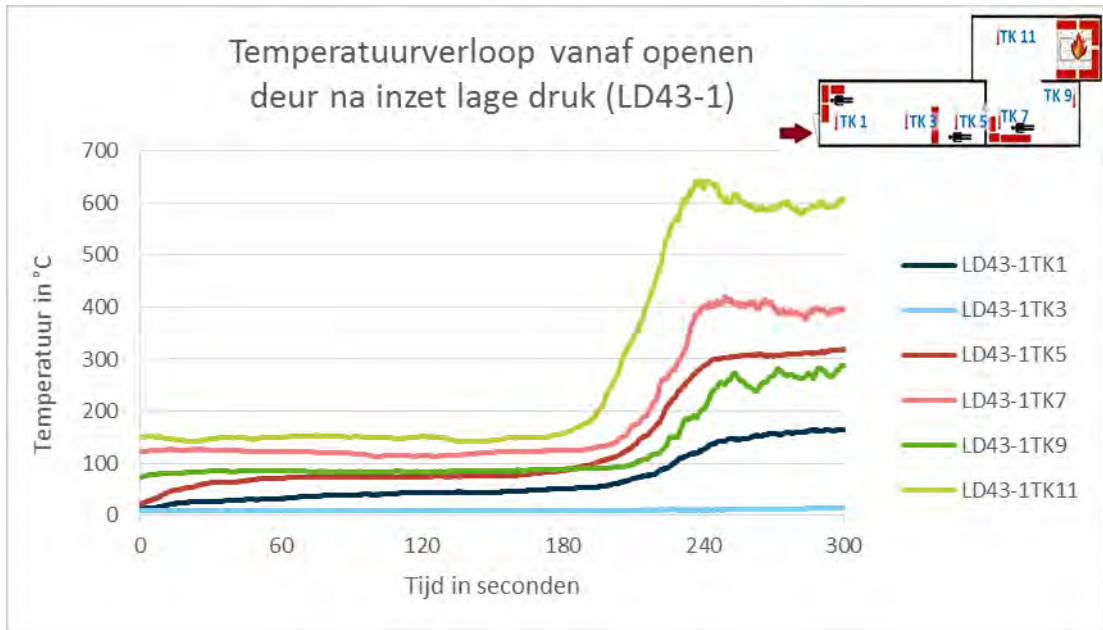
Figuur 3-97. Concentratie CO op slachtofferniveau bij inzet LD op gebouw met twee ruimten

### Conclusie

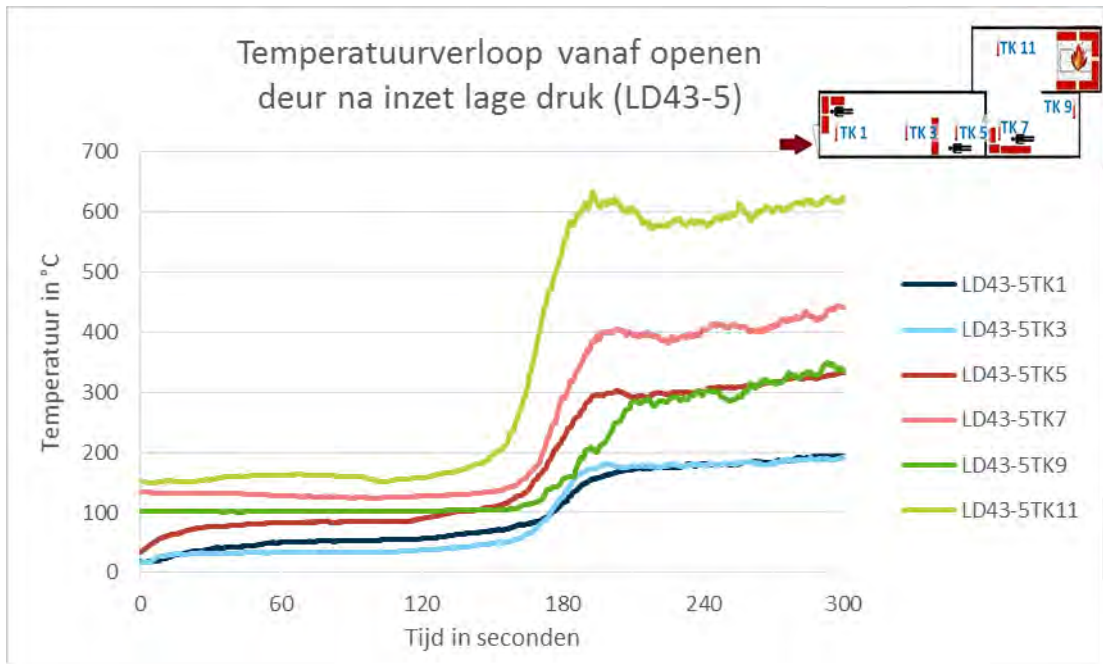
De grenswaarde voor CO wordt voor alle slachtoffers in de inzetfase overschreden. Deze nam echter voor de inzet al beperkt toe. De straling overschrijdt voor het slachtoffer het dichtst bij de brand de grenswaarde, en eenmaal voor slachtoffer 2. De temperatuur, O<sub>2</sub>-gehalte en NO<sub>x</sub> blijven op slachtofferniveau onder de grens.

### Effect na inzet

Na de inzet is de deur geopend. In figuur 3-98 en figuur 3-99 is te zien dat de temperatuur van de ruimte bij het openen van de deur de eerste 150-190 seconden stabiel blijft. Daarna volgt een heroplaaiing met een toename van de temperatuur van circa 500 °C, in iets minder dan een minuut. Zie voor meer achtergrondinformatie bijlage D (paragraaf 6).

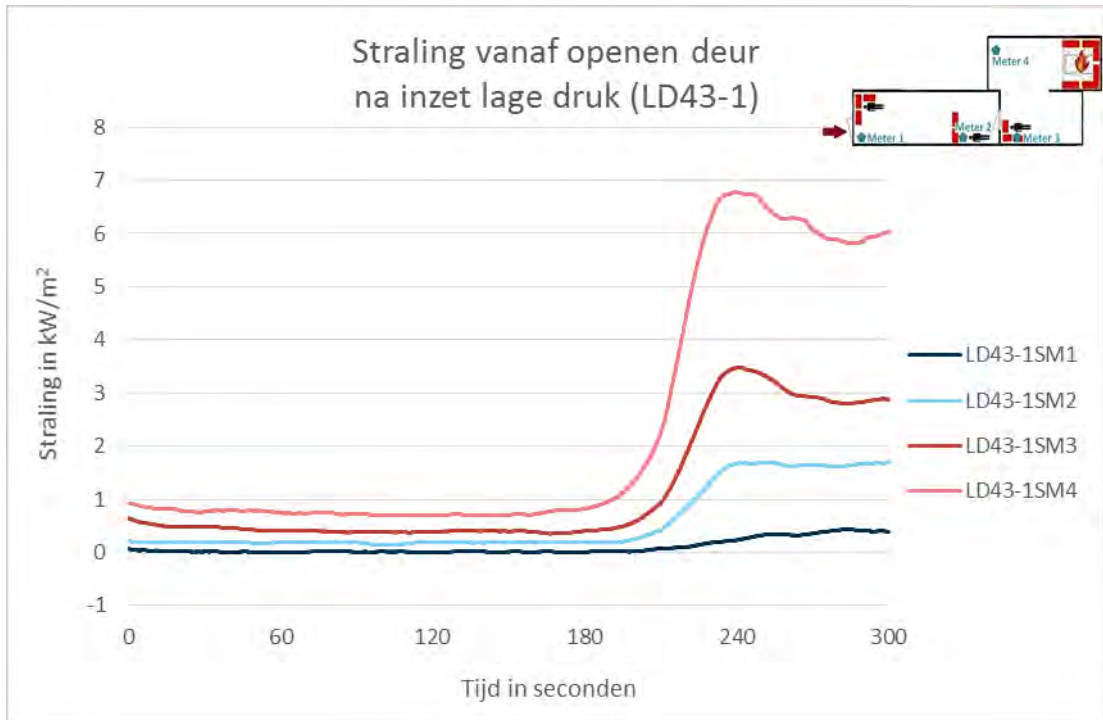


**Figuur 3-98. Temperatuurverloop vanaf openen deur na inzet LD op gebouw met twee ruimten (LD43-1)**

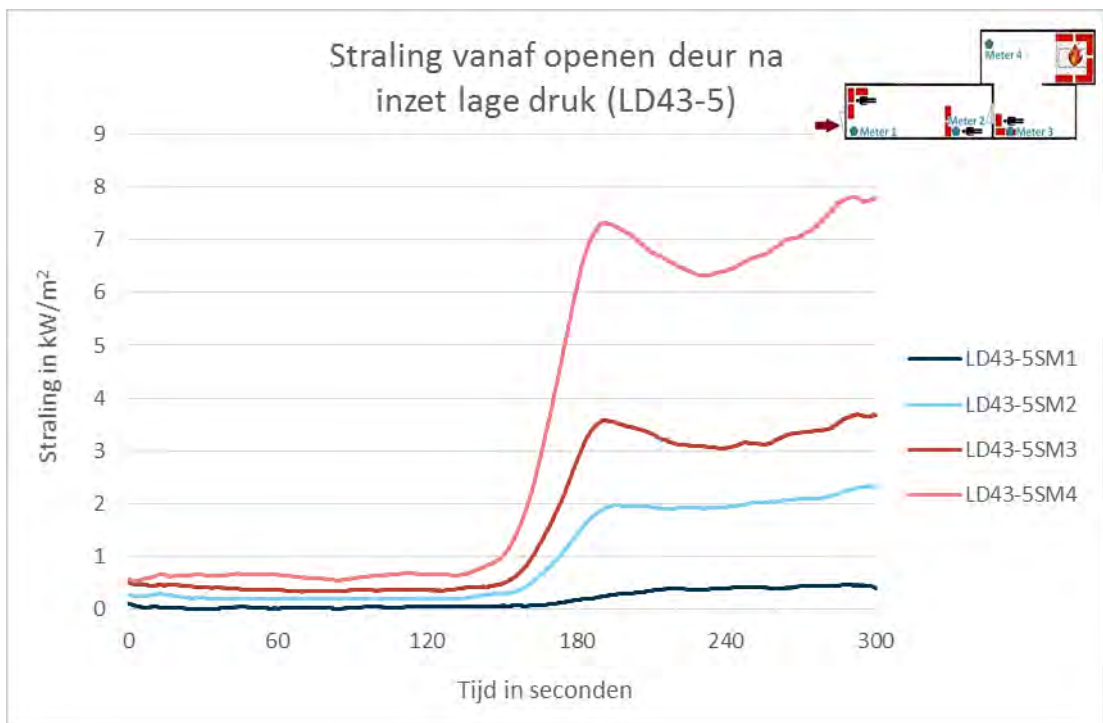


**Figuur 3-99. Temperatuurverloop vanaf openen deur na inzet LD op gebouw met twee ruimten (LD43-5)**

Op het moment van de heroplaging neemt ook de straling toe. Dit is te zien in figuur 3-100 en figuur 3-101.



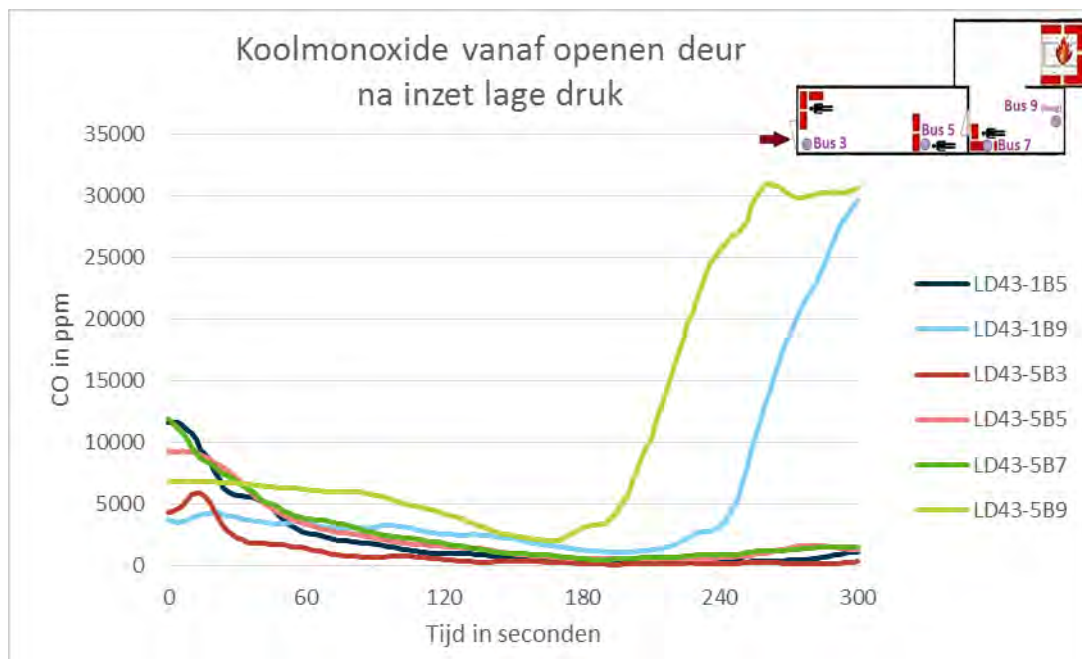
**Figuur 3-100. Straling vanaf openen deur na inzet LD op gebouw met twee ruimten (LD43-1)**



**Figuur 3-101. Straling vanaf openen deur na inzet LD op gebouw met twee ruimten (LD43-5)**

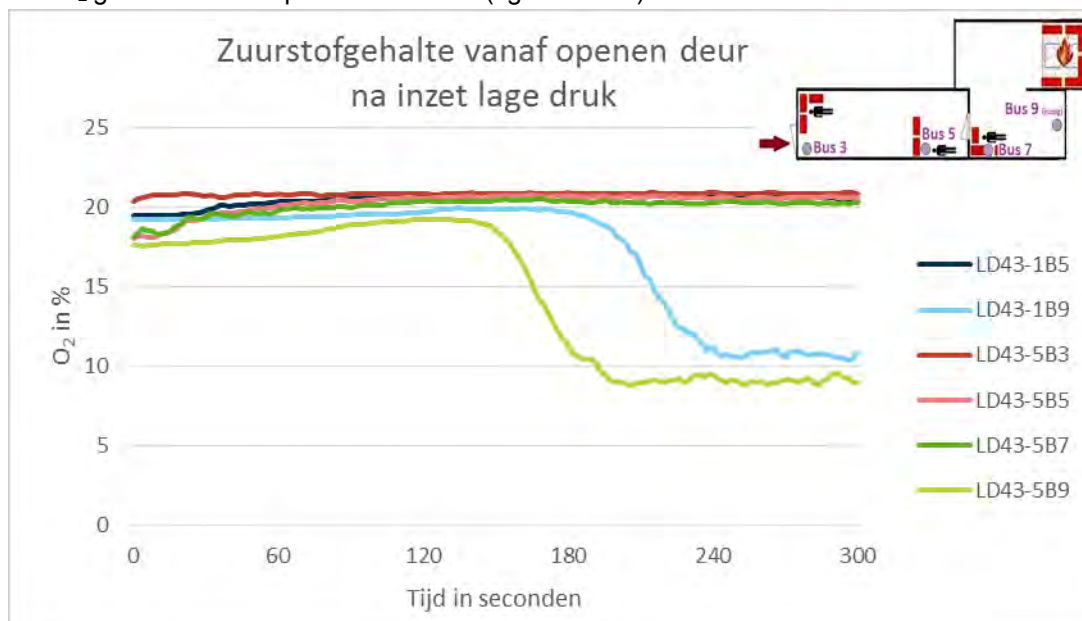
Ook het CO-gehalte neemt op het moment van heroplaaiing toe. Zie figuur 3-102.





Figuur 3-102. Concentratie CO vanaf openen deur na inzet LD op gebouw met twee ruimten<sup>26</sup>

Het O<sub>2</sub> gehalte neemt op dat moment af (figuur 3-103).



Figuur 3-103. O<sub>2</sub>-gehalte vanaf openen deur na inzet LD op gebouw met twee ruimten<sup>26</sup>

### Samengevat

Na de inzet met LD en het openen van de deur is er onder de proef-omstandigheden voldoende tijd om over te schakelen op een offensieve binneninzet. Tussen 2,5 tot ruim 3 minuten na het openen van de deur, herontsteekt de brand en loopt vervolgens in een minuut op naar circa 600 °C.

<sup>26</sup> Bus 3 en 7 zijn bij LD43-1 uitgevallen

# 4 Vergelijking tussen de technieken

## 4.1 Vergelijking tussen de technieken bij inzet in de brandruimte

In deze paragraaf wordt een vergelijking tussen de technieken<sup>27</sup> gemaakt bij de inzet rechtstreeks in de brandruimte.

### Blussing

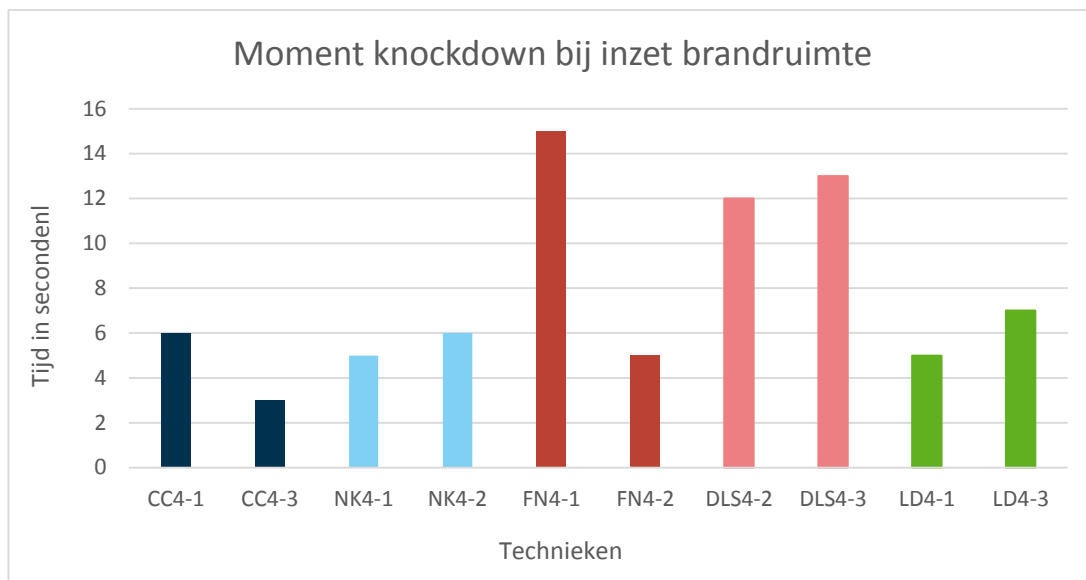
In tabel 4-1 is weergegeven bij welke technieken een knockdown heeft opgetreden, of deze in stand blijft gedurende de inzet en of er een gloeistadium na de knockdown aanwezig is. Te zien is dat alle technieken in staat zijn een knockdown te creëren die in stand blijft gedurende de inzet, waarbij bij alle technieken de brand in een gloeistadium blijft bestaan.

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

Techniek	Knockdown	Knockdown blijft in stand gedurende de inzet	Gloeistadium na knockdown
Nulmeting	Nee	n.v.t.	n.v.t.
CC	Ja	Ja	Ja
NK	Ja	Ja	Ja
FN	Ja	Ja	Ja
DLS	Ja	Ja	Ja
LD	Ja	Ja	Ja

Gekeken is ook naar de snelheid van knockdown. De verschillen hierin zijn klein: iedere techniek is tussen 3 en 15 seconden in staat een knockdown te creëren. Gezien de tijdsduur van een brandweerinzet, zijn deze verschillen marginaal. Zie figuur 4-1.

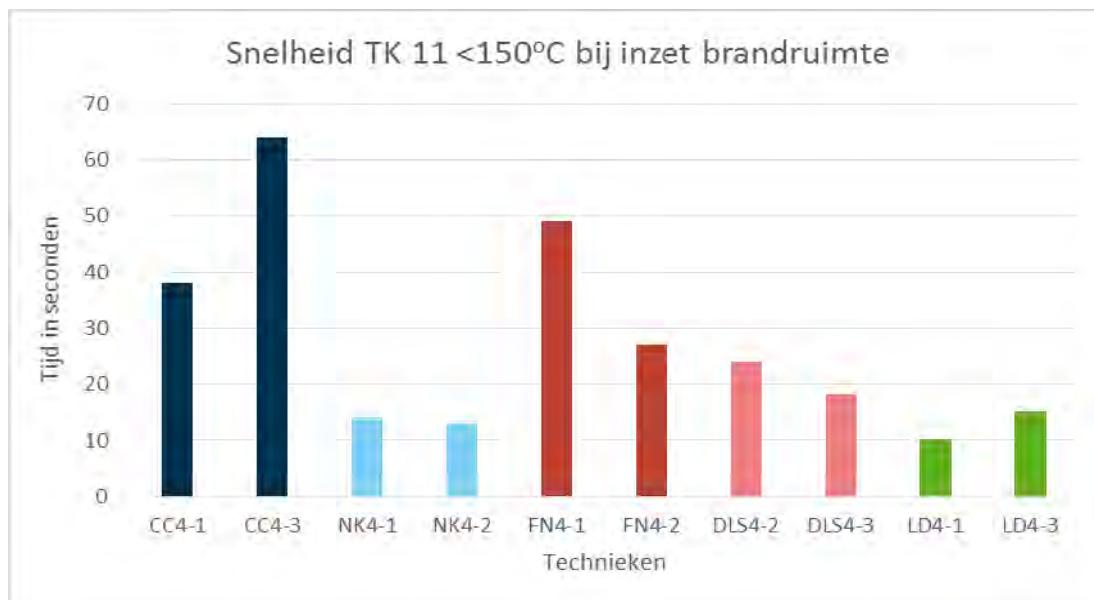
<sup>27</sup> RV is niet toegepast in het gebouw met één ruimte.



**Figuur 4-1. Overzicht snelheid knockdown bij inzet van de verschillende technieken in de brandruimte**

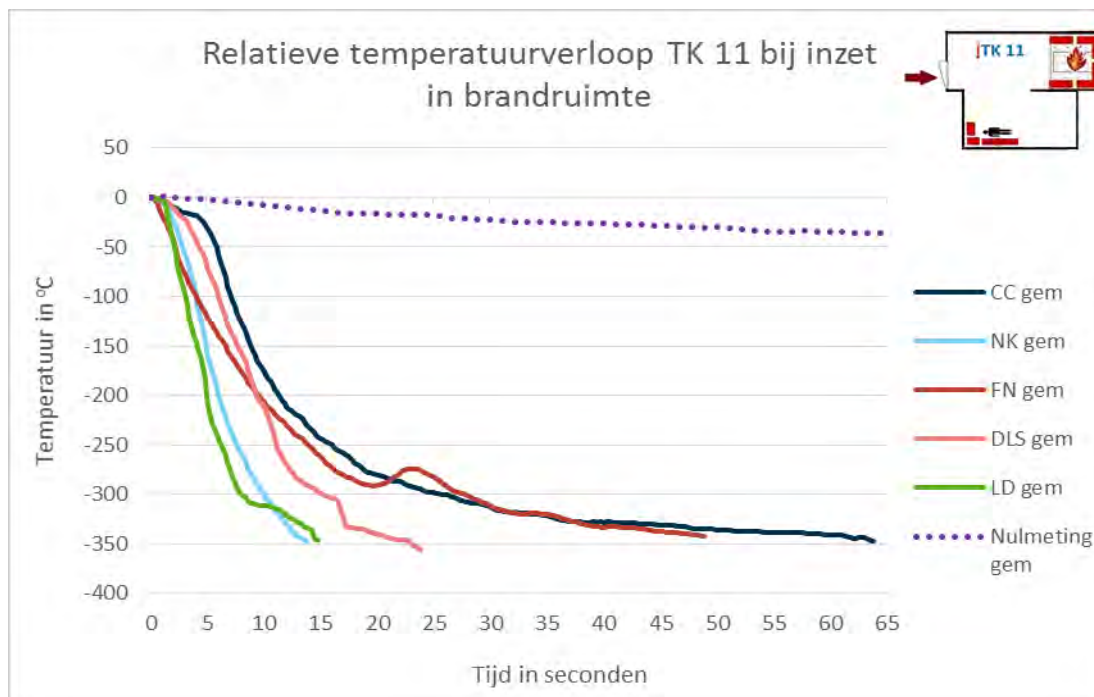
### Koeling

Alle onderzochte technieken zijn in staat om, bij de inzet in het gebouw met één ruimte, de temperatuur binnen de maximale experimenttijd onder de 150 °C te brengen op TK11. In figuur 4-2 is te zien dat de technieken met een relatief laag debiet (CC en FN) de meeste tijd nodig hebben om de temperatuur in de brandruimte onder de 150 °C te brengen. LD en NK bereiken het criterium het snelst. Alle technieken zijn in staat om in maximaal een minuut de temperatuur in de brandruimte voldoende omlaag te brengen voor een veilige binneninzet.



**Figuur 4-2. Overzicht snelheid temperatuur < 150 graden Celsius bij inzet van de verschillende technieken in de brandruimte**

Als gekeken wordt naar het gemiddelde temperatuurverloop op thermokoppel 11, dan is een vergelijkbaar beeld te zien. Ook in de steilheid van de lijn scoren NK en LD, samen met DLS, het beste. Dit is weergegeven in figuur 4-3.

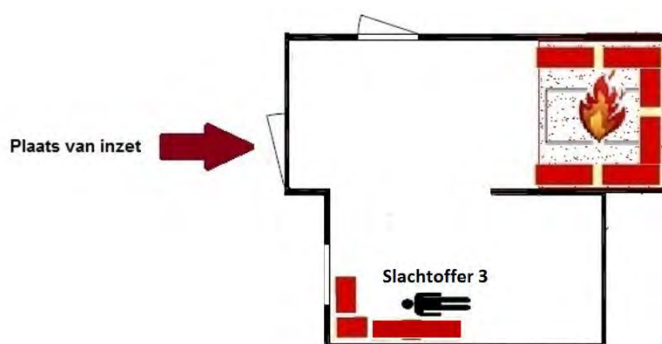


Figuur 4-3. Relatieve temperatuurverloop op referentiethermokoppel 11 bij inzet van de verschillende technieken in de brandruimte

### 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 meegenomen. Hierin wordt aangegeven of de grenswaarde in de inzetfase is overschreden.

Een groen figuurtje betekent dat er in beide inzetten geen overschrijding van de grenswaarde is. Een rood figuurtje betekent dat in beide inzetten de grenswaarden wel overschreden zijn. Een groen/rood figuurtje betekent dat in één van de twee inzetten de grenswaarde overschreden werd. De locatie van het slachtoffer in de brandruimte is weergegeven in figuur 4-4.



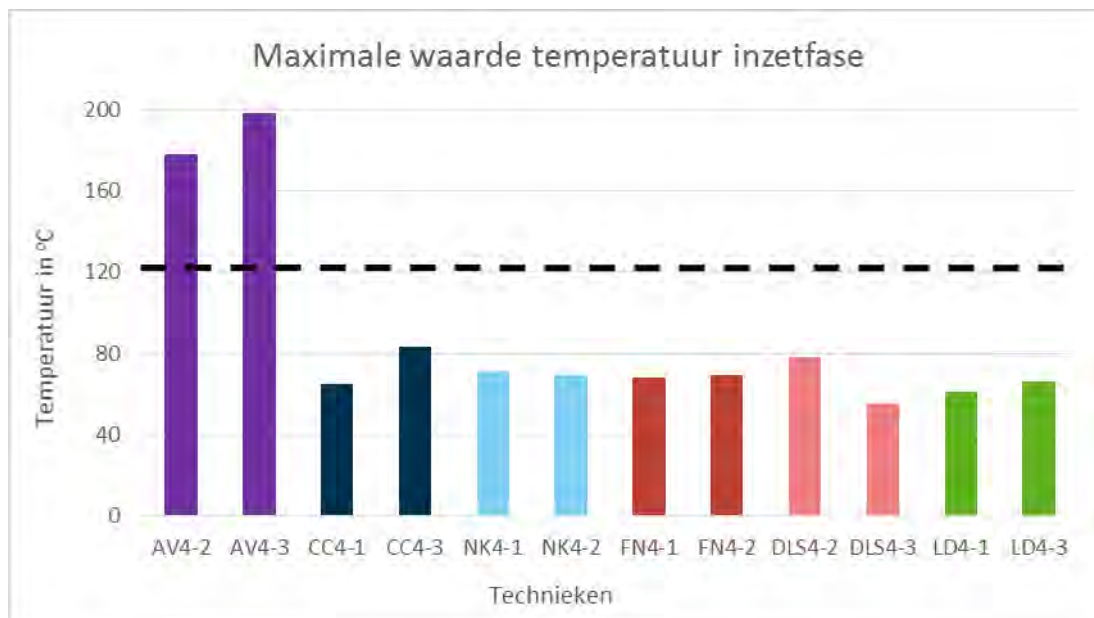
Figuur 4-4. Locatie slachtoffer (3) in de brandruimte

Tabel 4-2. Overzicht overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid in de brandruimte (slachtoffer 3)

	Temperatuur	Straling	CO	O <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
Nulmeting					
CC					
NK					
FN					
DLS					
LD					

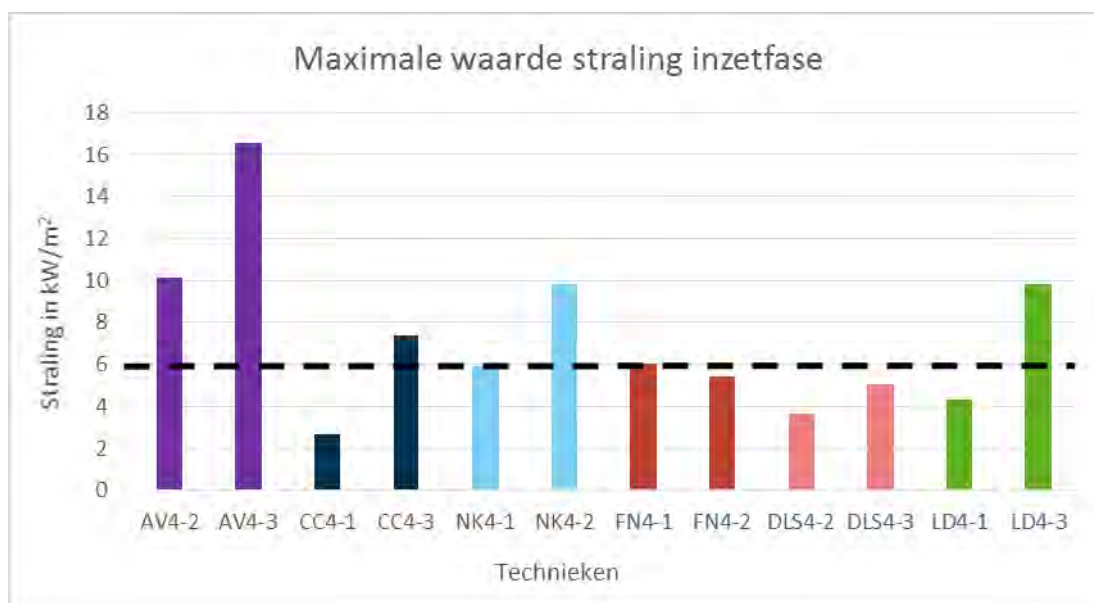
Te zien is dat alleen in de nulmeting de grenswaarde voor temperatuur en O<sub>2</sub> wordt overschreden. Bij geen van de blustechnieken worden deze grenswaarden overschreden. De CO-grenswaarde wordt bij alle technieken overschreden (waarvan bij DLS en LD in één van de twee inzetten). De stralingswaarde wordt in de nulmeting overschreden, en eenmaal bij CC, NK en LD. Bij FN en DLS wordt de grenswaarde bij beide inzetten niet overschreden.

Om inzicht te geven in de mate van overschrijding, zijn de maximale waarden in de inzetfase opgenomen in onderstaande figuren.



**Figuur 4-5. Maximale waarde van de temperatuur tijdens inzet van de verschillende technieken en de nulmeting (AV) in de brandruimte**

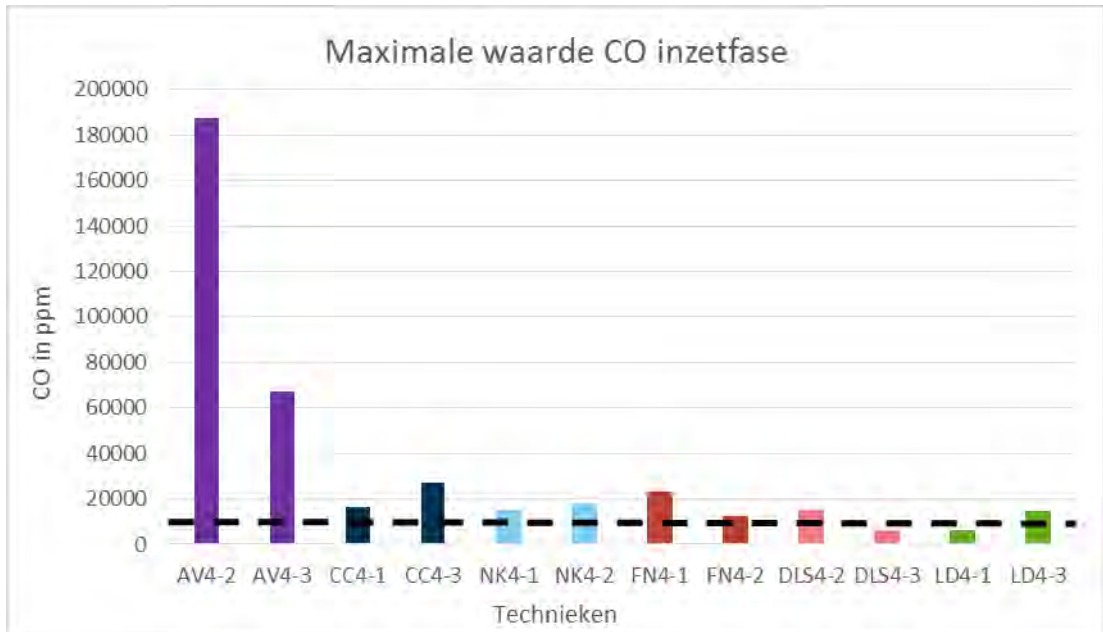
In figuur 4-5 is te zien dat uitsluitend tijdens de nulmeting de grenswaarde voor temperatuur wordt overschreden.



**Figuur 4-6. Maximale waarde van de straling tijdens inzet van de verschillende technieken en de nulmeting (AV) in de brandruimte**

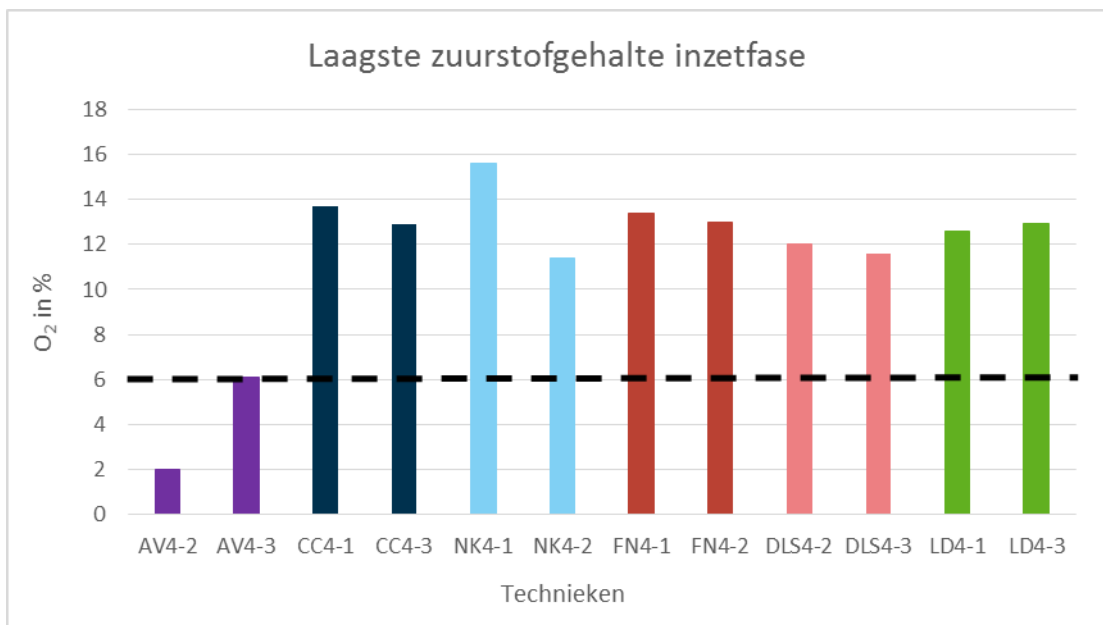
Te zien is dat bij de nulmeting en bij één van de twee inzetten met CC, NK en LD de grenswaarde voor straling wordt overschreden. Bij de overige inzetten en technieken worden de grenswaarde voor straling niet overschreden. Zie figuur 4-6.

Vervolgens is gekeken naar de maximale waarde van CO. Zie figuur 4-7.



**Figuur 4-7. Maximale waarde van CO tijdens inzet van de verschillende technieken en de nulmeting (AV) in de brandruimte**

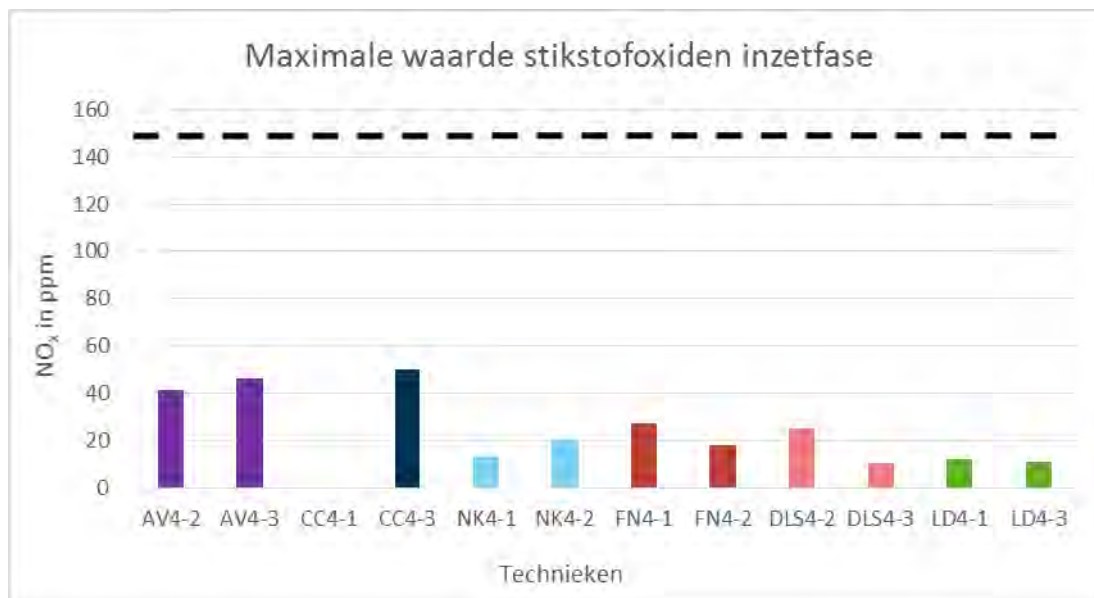
Te zien is dat bij alle inzetten, op één DLS-inzet en één LD-inzet na, de grenswaarde voor CO wordt overschreden. De hoogste waarden zijn te zien bij de CC en FN.



**Figuur 4-8. Laagste O<sub>2</sub>-gehalte tijdens inzet van de verschillende technieken en de nulmeting (AV) in de brandruimte**

In figuur 4-8 is te zien dat bij alle inzetten het O<sub>2</sub>-gehalte de grenswaarde van 6% niet overschrijd, met uitzondering van één nulmeting (AV4-2).

Als gekeken wordt naar de concentratie NO<sub>x</sub> (figuur 4-9), is te zien dat bij alle inzetten de grenswaarde van 150 ppm niet wordt overschreden.



**Figuur 4-9. Maximale waarde van NO<sub>x</sub> tijdens inzet van de verschillende technieken en de nulmeting (AV) in de brandruimte<sup>28</sup>**

### Effect na inzet

In tabel 4-3 is opgenomen wat er met de verschillende technieken gebeurt op het moment dat de deur na de offensieve buiteninzet wordt geopend, om fictief over te schakelen op een offensieve binneninzet. Te zien is dat er bij DLS en LD geen heroplaaiing plaatsvindt, en bij de overige technieken wel.

**Tabel 4-3. Overzicht van heroplaaiing en moment van heroplaaiing**

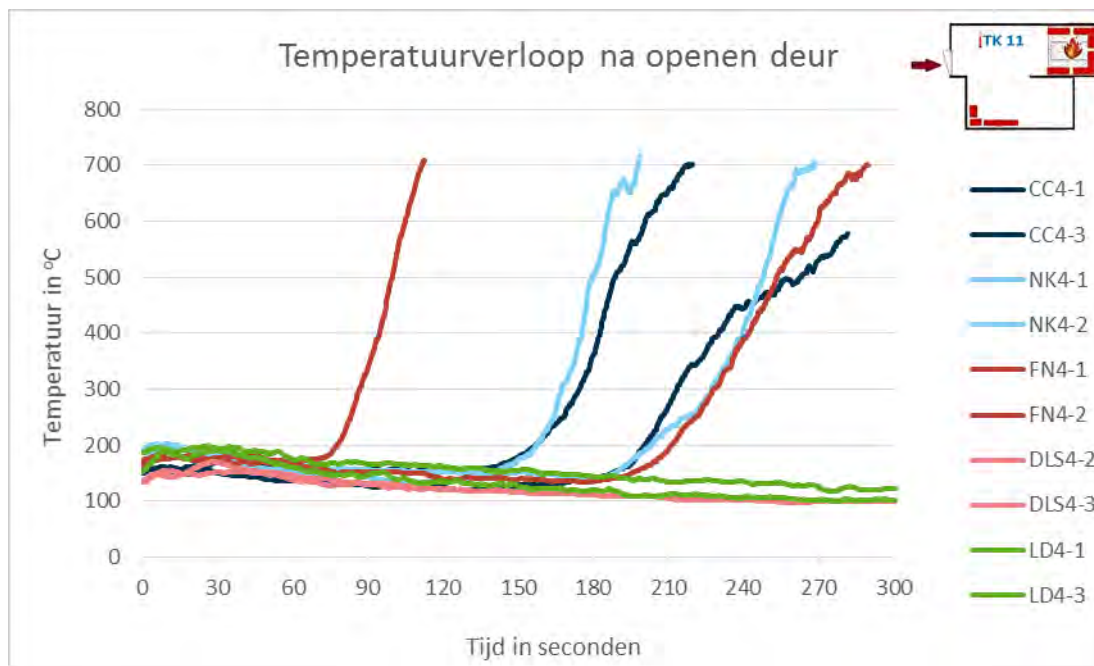
	Heroplaaiing	Moment op laaiing
CC	Ja	90-120 sec.
NK	Ja	180-150 sec.
FN	Ja	60-180 sec.
DLS	Nee	N.v.t.
LD	Nee	N.v.t.

In onderstaande figuur (figuur 4-10) is het temperatuurverloop vanaf het openen van de deur te zien. De lijnen van LD en DLS blijven duidelijk laag, terwijl de lijnen van FN, CC en NK oplopen. Vrijwel in alle gevallen<sup>29</sup> wordt daarbij de kritische grenstemperatuur van 700 °C bereikt. In alle gevallen gaat de temperatuurstijging na de heroplaaiing snel: binnen een halve tot één minuut loopt de temperatuur van 150-200 °C op naar temperaturen van 700 °C.

<sup>28</sup> NO<sub>x</sub> zijn niet gemeten tijdens CC4-1.

<sup>29</sup> Met uitzondering van CC4-1, deze is onbedoeld te vroeg afgebroken: 5 minuten na einde van de inzet in plaats van 5 minuten na openen van de deur.





Figuur 4-10. Temperatuurverloop vanaf openen deur na inzet in brandruimte

## 4.2 Vergelijking tussen de technieken bij inzet in twee ruimten

In deze paragraaf wordt een vergelijking tussen de technieken gemaakt bij de inzet in de aangrenzende ruimte.

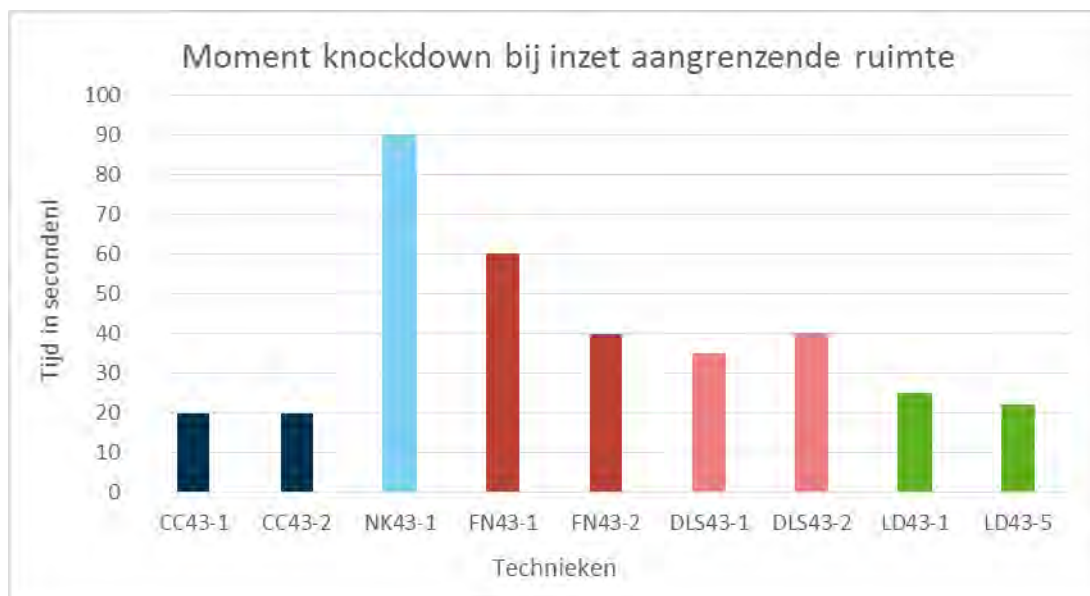
### Blussing

In tabel 4-4 is weergegeven bij welke technieken een knockdown heeft opgetreden, of er sprake is van een knockdown die in stand blijft tijdens de inzet en of er een gloeistadium na de knockdown aanwezig is. Te zien is dat alle technieken, behalve RV, in staat zijn een knockdown te creëren (waarvan bij de NK in één van de twee inzetten). Alleen bij LD en bij één inzet met DLS en FN is er sprake van een knockdown gedurende de gehele inzet. Bij de overige technieken vindt er, ondanks dat de offensieve buiteninzet nog volop bezig is, een heroplaging plaats. Bij RV is er geen knockdown, maar juist een toename van de brand.

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

Techniek	Knockdown	Knockdown blijft in stand gedurende de inzet	Gloeistadium na knockdown
Nulmeting	Nee	N.v.t.	N.v.t. (geen knockdown)
CC	Ja	Nee	N.v.t. (heroplaaiing)
NK	Ja (1/2)	Nee	N.v.t. (heroplaaiing)
FN	Ja	Nee	N.v.t. (heroplaaiing)
RV	Nee	N.v.t.	N.v.t. (geen knockdown)
DLS	Ja	Ja (1/2)	Ja (1/2) N.v.t. (heroplaaiing) (1/2)
LD	Ja	Ja	Ja

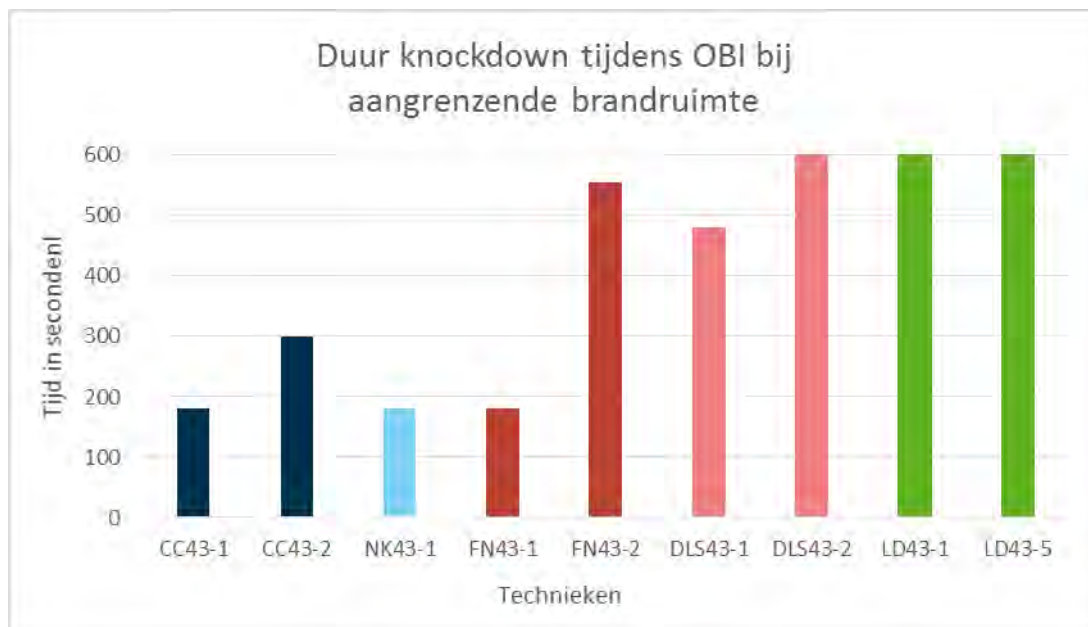
Wel is er verschil in de snelheid waarmee de knockdown wordt gerealiseerd. In figuur 4-11 is te zien is dat de meeste technieken in 20-40 seconden een knockdown creëren. De CC is het snelst, en de NK deed er het langst over.<sup>30</sup> In de praktijk zijn deze verschillen echter niet van groot belang



Figuur 4-11. Overzicht snelheid knockdown bij inzet van de verschillende technieken in de aangrenzende ruimte

Wat opvalt is dat bij een aantal technieken, terwijl de offensieve buiteninzet nog gaande is, er een heroplaaiing plaatsvindt. Daarom is gekeken naar de duur van de knockdown, waarbij het einde van de inzet na 600 seconden plaatsvindt. Te zien is dat bij DLS en LD de knockdown lang in stand blijft. Bij FN is een wisselend beeld te zien. De knockdown bij de NK en CC duurt relatief kort.

<sup>30</sup> NK 43-2 en de experimenten met RV leiden niet tot een knockdown en zijn daarom niet opgenomen in de figuur.



**Figuur 4-12. Overzicht duur knockdown bij inzet van de verschillende technieken in de aangrenzende ruimte**

### Koeling

Op LD na is geen van de onderzochte technieken in staat om bij de inzet in het gebouw met twee ruimten de temperatuur binnen de maximale experimenttijd onder de 150 °C te brengen op TK11. Zie ook tabel 4-5. Bij LD wordt het criterium bereikt na 259, respectievelijk 381 seconden.

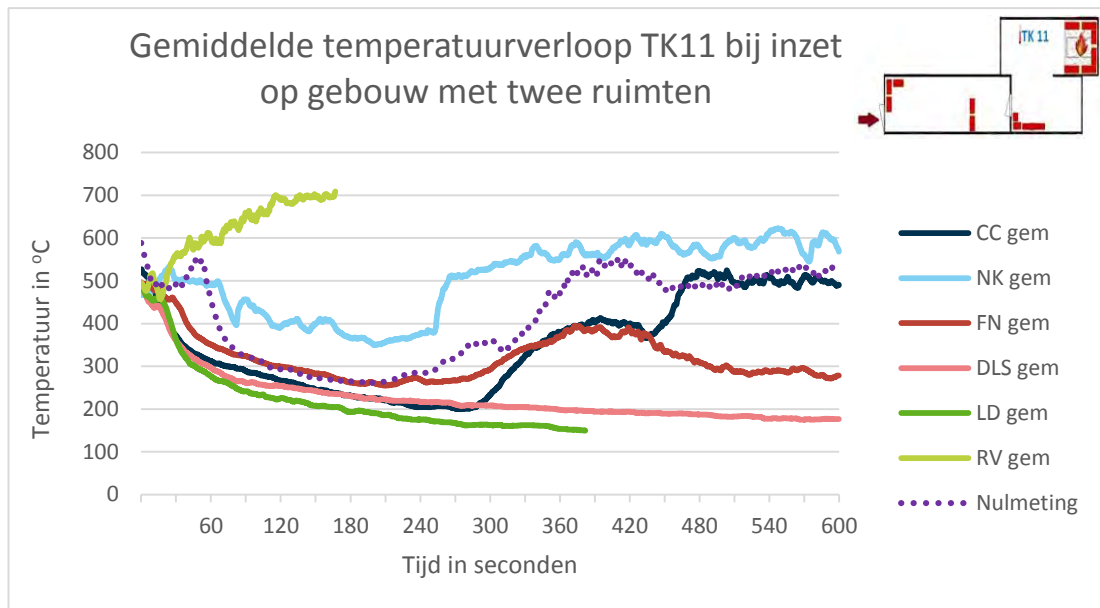
**Tabel 4-5. Overzicht bereiken stopcriterium temperatuur < 150°C**

Techniek	Criterium bereikt
Nulmeting	Nee
CC	Nee
NK	Nee
FN	Nee
RV	Nee
DLS	Nee
LD	Ja

Als gekeken wordt naar het gemiddelde temperatuurverloop op thermokoppel 11, dan is te zien dat de inzet met RV is afgebroken na circa 3 minuten. De reden hiervoor is dat de temperatuur boven de 700 °C kwam, en de constructieveiligheid en continuïteit van de meetapparatuur niet meer gegarandeerd konden worden. Bij alle andere technieken is in eerste instantie een geleidelijke daling te zien. Deze zet bij LD door, waardoor na ruim 6 minuten het stopcriterium van 150 °C bereikt wordt. Bij DLS zet deze daling door, maar leidt niet tot het stopcriterium (de temperatuur blijft circa 200 °C).

Bij NK, FN en CC is een verloop van de temperatuur te zien, met eerst een daling en tussen 3 en 3,5 minuut na de start van de inzet een toename van de temperatuur. Het gehele

temperatuurverloop komt vrijwel overeen met het temperatuurverloop van de nulmeting. Dit betekent dat deze technieken nauwelijks andere resultaten laten zien dan het dichthouden van de deur. Zie figuur 4-13.

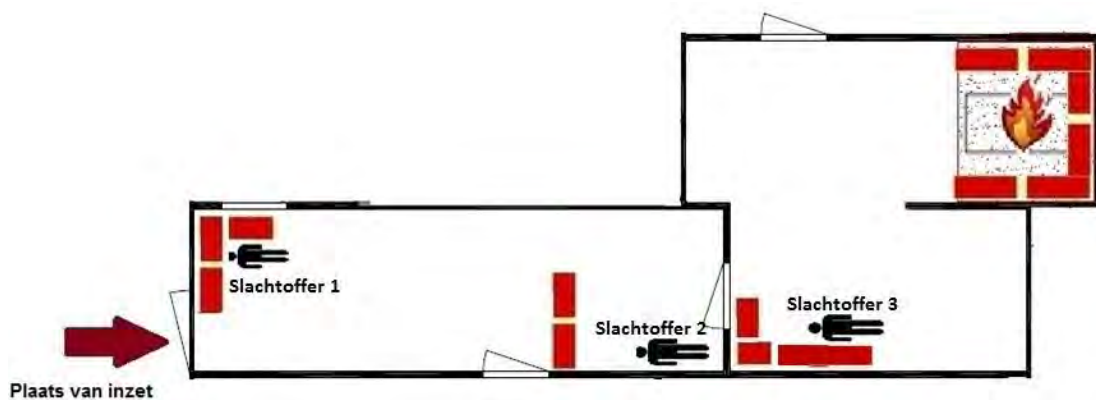


**Figuur 4-13. Gemiddelde temperatuurverloop op referentiethermokoppel 11 bij inzet van de verschillende technieken op gebouw met twee ruimten**

### Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid

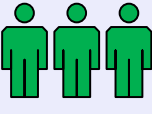
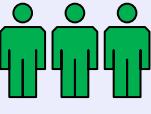
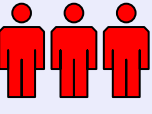
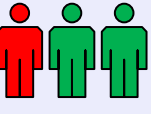
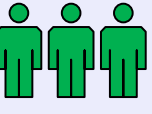



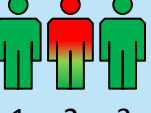
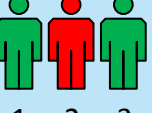



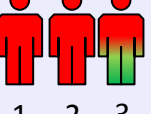

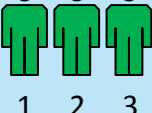


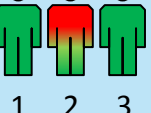
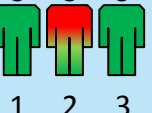
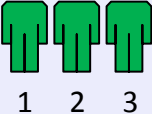
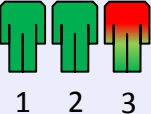
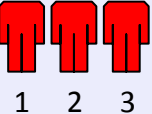
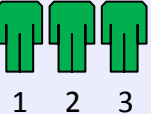
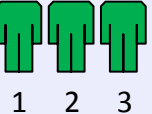
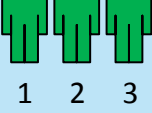

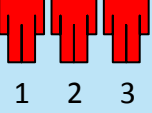
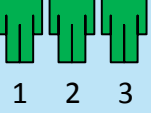
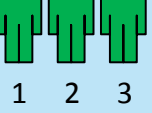
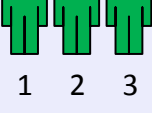
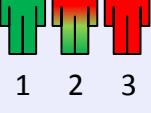
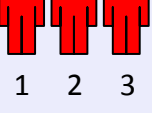
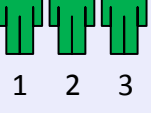
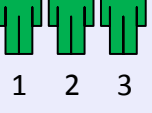
Om een vergelijking te kunnen maken op het gebied van parameters voor overleefbaarheid, zijn in tabel 4-6 de uitkomsten op hoofdlijnen meegenomen. Hierin wordt aangegeven of de grenswaarde in de inzetfase is overschreden. Een groen figuurtje betekent dat er in beide inzetten geen overschrijding van de grenswaarde is. Een rood figuurtje betekent dat in beide inzetten de grenswaarden wel overschreden zijn. Een groen/rood figuurtje betekent dat in één van de twee inzetten de grenswaarde overschreden is.

De drie personen geven de drie slachtoffers aan, waarbij het meest linker figuur slachtoffer 1 is (het verst van de brandhaard), het middelste figuur is slachtoffer 2 (voor de muur in de aangrenzende ruimte) en slachtoffer 3 is in de brandruimte. De locaties van de slachtoffers zijn aangegeven in figuur 4-14.



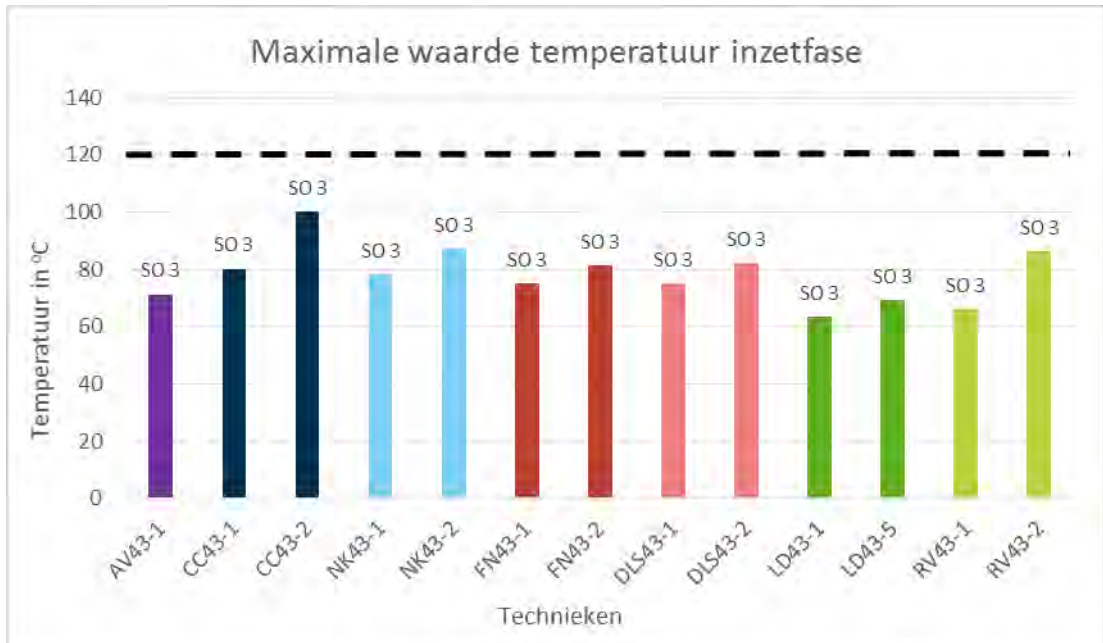
**Figuur 4-14. Locatie slachtoffers in de ruimten**

Tabel 4-6. Overzicht overschrijden grenswaarden voor overleefbaarheid bij inzet in aangrenzende ruimte

	Temperatuur	Straling	CO	O <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
Nulmeting <sup>31</sup>	 1 2 3	 1 2 3	 1 2 3	 1 2 3	 1 2 3
CC	 1 2 3	 1 2 3	 1 2 3	 1 2 3	 1 2 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
RV	 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 3	 1 2 3	 1 2 3

Om inzicht te geven in de mate van overschrijding, zijn de maximale waarden in de inzetfase opgenomen in onderstaande figuren.

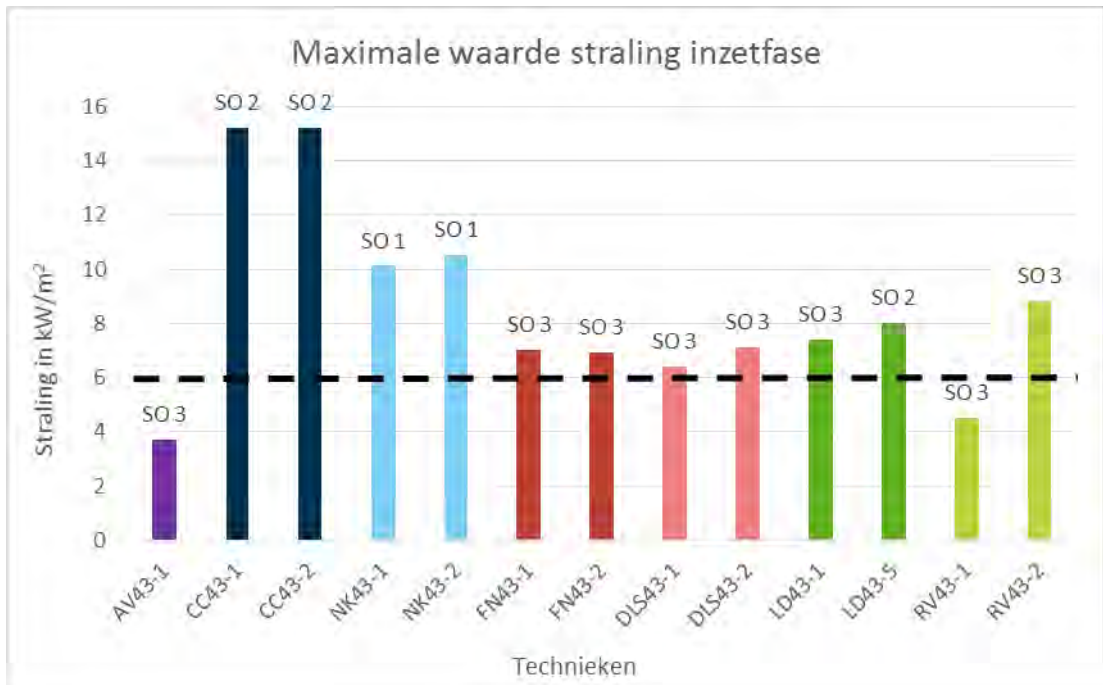
<sup>31</sup> De nulmeting betreft één experiment, de ingezette technieken zijn in tweevoud uitgevoerd.



**Figuur 4-15.** Maximale waarde van de temperatuur tijdens inzet van de verschillende technieken en de nulmeting (AV) op gebouw met twee ruimten

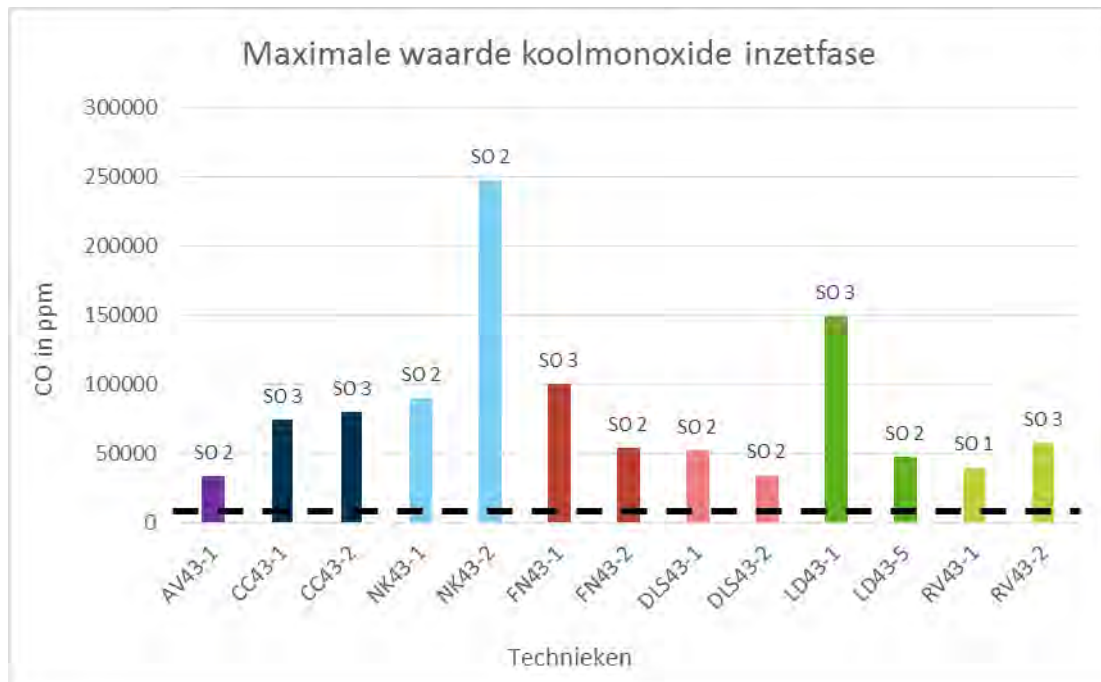
In figuur 4-15 is te zien dat de grenswaarde voor temperatuur tijdens de inzetfase niet wordt overschreden.

Als gekeken wordt naar de maximale waarde van de straling in de inzetfase (figuur 4-16), is te zien dat bij de CC de gemeten waarde het hoogst is, namelijk circa 15 kW/m<sup>2</sup>. In de nulmeting blijft de straling, in tegenstelling tot de meeste technieken, onder de grenswaarde voor overleefbaarheid.



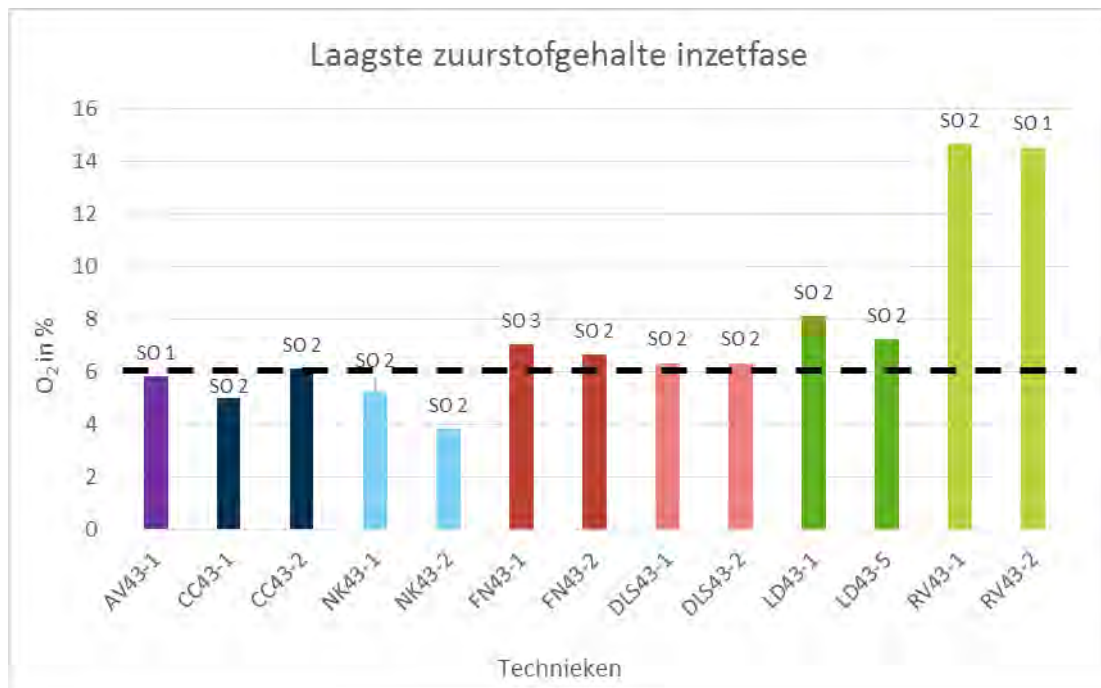
**Figuur 4-16.** Maximale waarde van de straling tijdens inzet van de verschillende technieken en de nulmeting (AV) op gebouw met twee ruimten

Bij CO is te zien dat de maximale waarde in de inzetfase sterk varieert, niet alleen tussen maar ook binnen de verschillende technieken. Opvallend is dat de onderste explosiegrens (110.000 ppm) tweemaal (ruim) wordt overschreden. Zie figuur 4-17.



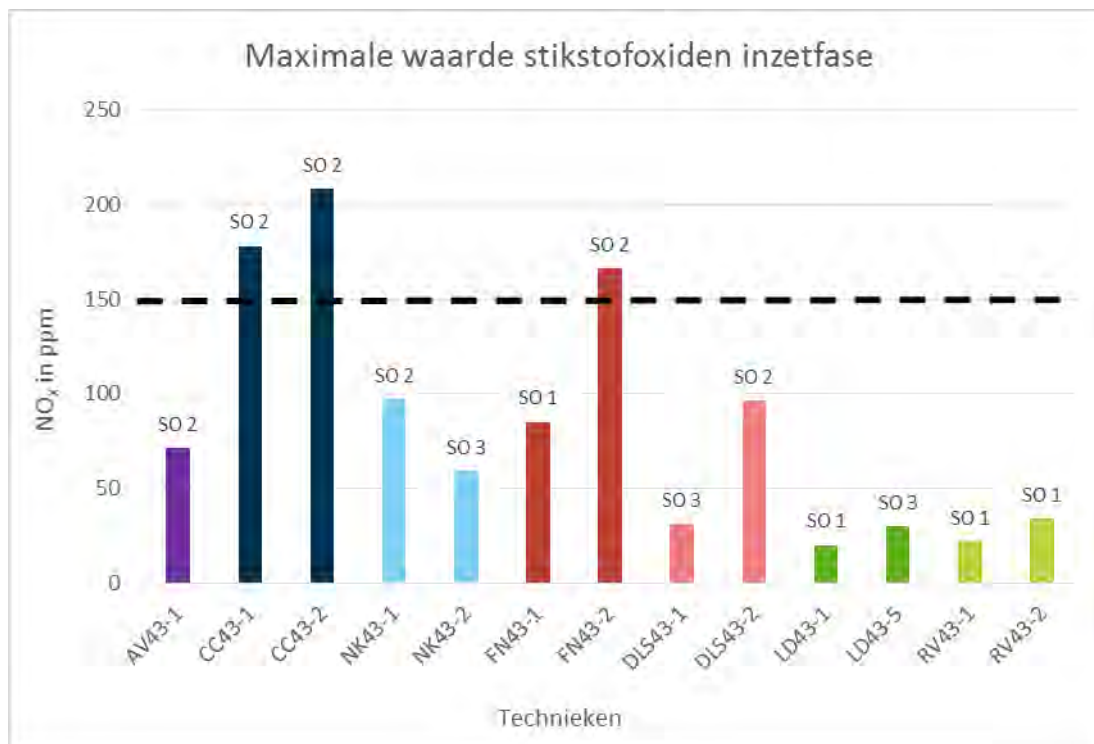
**Figuur 4-17. Maximale waarde van CO tijdens inzet van de verschillende technieken en de nulmeting (AV) op gebouw met twee ruimten**

Als gekeken wordt naar het laagste O<sub>2</sub>-percentage (figuur 4-18), dan is te zien dat deze bij de meeste technieken net onder, op of over de grenswaarde van 6% ligt. RV is hierin een uitschieter, waarbij het O<sub>2</sub>-percentage boven de 14% blijft gedurende de gehele inzet.



**Figuur 4-18. Laagste O<sub>2</sub>-gehalte tijdens inzet van de verschillende technieken en de nulmeting (AV) op gebouw met twee ruimten**

De maximale grenswaarde van NO<sub>x</sub> overschrijdt bij de CC, en eenmaal bij de FN. De maximale waarden zijn te zien in figuur 4-19.



Figuur 4-19. Maximale waarde van NO<sub>x</sub> tijdens inzet van de verschillende technieken en de nulmeting (AV) op gebouw met twee ruimten

### Effect na inzet

Er is een vergelijking gemaakt van het effect na de offensieve buiteninzet in de aangrenzende ruimte, om te bepalen wat het effect is van het openen van een deur ten behoeve van het overschakelen op de offensieve binneninzet. Er is één techniek die in staat is om de temperatuurdaling tot het criterium van 150 °C te bereiken, namelijk LD. Uit tabel 4-7 blijkt dat, als er na afloop van de offensieve buiteninzet een deur wordt geopend, er een heroplaaiing plaatsvindt na 150-190 seconden. Daarna is een sterke stijging van de temperatuur te zien als de heroplaaiing eenmaal plaatsvindt. Zie tabel 4-7.

Tabel 4-7. Overzicht van heroplaaiing, moment van heroplaaiing en bijzonderheden

	Heroplaaiing	Moment heroplaaiing na einde inzet	Bijzonderheden
LD	Ja	150-190 sec.	< 1 min. stijging naar 600 °C

## 4.3 Waterverbruik

In de tabel 4-8 is het gemiddelde waterverbruik weergegeven bij de inzet rechtstreeks in de brandruimte en in de aangrenzende ruimte. Deze gegevens zijn opgenomen als achtergrondinformatie bij de interpretatie van de voorgaande resultaten.



Tabel 4-8. Gemiddelde waterverbruik bij inzet direct in de brandruimte en bij inzet in de aangrenzende ruimte

Techniek	Gemiddeld waterverbruik (dm <sup>3</sup> ) bij inzet in brandruimte	Gemiddeld waterverbruik (dm <sup>3</sup> ) bij inzet in aangrenzende ruimte
CC	50	579
NK	70	2983
FN	38	640
DLS	46	1098
RV	N.v.t.	N.v.t.
LD	94	2232

# 5 Conclusies

In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de deelvragen en de hoofdvraag 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 is onderzocht. Dit betekent dat de conclusies van het onderzoek uitsluitend geldig zijn voor de onderzochte proefopzet en scenario.

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

Bij de inzet rechtstreeks in de brandruimte, in het scenario van het gebouw met één ruimte, zijn alle technieken (CC, NK, FN, DLS en LD) in staat om binnen 15 seconden vanaf de start van de inzet een knockdown te creëren die in stand blijft gedurende de gehele inzet. Er zijn dan alleen nog wat brandresten in een gloeistadium aanwezig.

Bij de inzet in de aangrenzende ruimte in het scenario van een gebouw met twee ruimten, zijn CC, FN, DLS en LD bij beide inzetten in staat een knockdown te creëren. Met de NK lukt dit eenmaal wel, en eenmaal niet. Met inzet van RV, welke uitsluitend in dit scenario is onderzocht, wordt de brand niet geblust. Alleen bij LD en bij één van de twee inzetten met DLS blijft de knockdown tijdens de inzet ook in stand. Bij de overige technieken, die de brand in eerste instantie blusten, is er sprake van een heroplaaiing nog *tijdens* de offensieve buiteninzet.

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

Bij de inzet rechtstreeks in de brandruimte, in het scenario van een gebouw met één ruimte, zijn alle onderzochte technieken<sup>32</sup> in staat om de temperatuur in de brandruimte binnen een minuut onder de 150 °C te brengen. Wel varieert de snelheid waarmee dit gebeurt: bij de ene techniek is deze koeling bereikt na 10-15 seconden, terwijl er ook technieken zijn die hier 40-60 seconden voor nodig hebben.

De gemeten temperatuurdaling is daadwerkelijk het gevolg van de inzetten. Bij de nulmeting, zonder inzet, is te zien dat de temperatuur nauwelijks daalt gedurende de maximale experimenttijd van 10 minuten.

Bij de inzet in de aangrenzende ruimte in het scenario van een gebouw met twee ruimten, is alleen LD in staat om de temperatuur in de brandruimte binnen de maximale experimenttijd van 10 minuten onder de 150 °C te brengen. Bij LD wordt het criterium bereikt na 4,5 minuut respectievelijk 6,5 minuut. Bij DLS is sprake van een gestage daling van de temperatuur. De temperatuur is na de maximale tijdsduur van de inzet van 10 minuten nog niet onder de grenswaarde van 150 °C gebracht, wel net onder de 200 °C. RV laat uitsluitend een toename van de temperatuur in de brandruimte zien, waardoor deze experimenten omwille van de veiligheid van de constructie en meetapparatuur moesten worden afgebroken. Bij de FN, CC en NK is in eerste instantie een daling te zien, maar deze lijkt verklaard te kunnen worden uit het natuurlijk brandverloop. Ook in de nulmeting, zonder inzet, is deze daling namelijk te zien. Ook de stijging van de temperatuur ongeveer halverwege de inzet van de

<sup>32</sup> RV is in dit scenario niet onderzocht.

offensieve buiteninzet met CC, NK en eenmaal met de FN naar de starttemperatuur vertoont overeenkomsten met de nulmeting.

Samengevat: offensieve buiteninzetten blijken met LD, en in een van de twee experimenten met DLS, dus in staat om in dit pand met twee ruimten ook in een aangrenzende ruimte een inzet te doen met effect in de brandruimte. De overige technieken hebben weinig effect in de brandruimte ten opzichte van de situatie zonder inzet. Wat wel lukt met alle technieken, is het koelen van de aangrenzende ruimte zelf: binnen 30 seconden is de temperatuur van de aangrenzende ruimte met alle technieken gekoeld tot onder de 150 °C en deze temperatuur blijft ook de rest van de inzetten stabiel.

### **Onderzoeksvraag 3. In hoeverre zijn de offensieve buiteninzettechnieken in staat om het niveau van de parameters voor overleefbaarheid (temperatuur, straling, CO, O<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub>) op slachtofferniveau in de verschillende ruimten te behouden of te verbeteren?**

#### **Temperatuur**

Bij de inzet rechtstreeks in de brandruimte, in het scenario van een gebouw met één ruimte, wordt bij geen van de onderzochte technieken (CC, FN, NK, DLS en LD) in dit scenario de grenswaarde voor temperatuur tijdens de inzet overschreden. De offensieve buiteninzetten hebben een positief effect op de parameter temperatuur. Dit blijkt uit het feit dat bij de nulmeting, dus zonder offensieve buiteninzet, de grenswaarde voor temperatuur wel wordt overschreden.

Bij de inzet in de aangrenzende ruimte in het scenario van een gebouw met twee ruimten, wordt bij de inzet van de offensieve buiteninzettechnieken (CC, FN, NK, DLS, RV en LD) de grenswaarde nergens overschreden. Ook in de nulmeting, zonder inzet, wordt bij geen van de drie slachtoffers de grenswaarde voor temperatuur overschreden. De offensieve buiteninzetten hebben niet of nauwelijks een (positief of negatief) effect op de temperatuur op slachtofferhoogte in de brandruimte.

#### **Straling**

Bij de inzet rechtstreeks in de brandruimte, in het scenario van een gebouw met één ruimte, blijkt dat in de nulmeting, dus zonder offensieve buiteninzet, de grenswaarde voor straling wordt overschreden. Bij CC, NK en LD wordt telkens in één van beide inzetten de grenswaarde voor straling overschreden. Daarbij laat de straling een duidelijke toename zien vanaf het moment van de inzet. Bij DLS en de FN wordt bij inzet rechtstreeks in de brandruimte de grenswaarde voor straling niet overschreden. RV is in dit scenario niet onderzocht. Hoewel de inzet rechtstreeks in de brandruimte bij een aantal technieken leidt tot een toename van de straling op slachtofferniveau, heeft *niet* inzetten een sterker negatief effect op de parameter straling.

Bij de inzet in de aangrenzende ruimte in het scenario van een gebouw met twee ruimten, wordt in de nulmeting de grenswaarde voor straling bij *geen* van de slachtoffers overschreden. Bij alle inzettechnieken wordt daarentegen bij beide inzetten tenminste één slachtoffer de grenswaarde overschreden, met uitzondering van RV (waar de grenswaarde van slechts één slachtoffer bij één inzet wordt overschreden). Het effect van de techniek, in de vorm van een toename van de straling, treedt het sterkst op daar waar de rookgaslaag vermoedelijk het meest verstoord wordt. Bij de NK is dit ter hoogte van de inzetlocatie (slachtoffer 1). Bij CC, FN, DLS en LD worden de grenswaarden van slachtoffer 3 en in een aantal gevallen slachtoffer 2 overschreden. De mate van overschrijding van de grenswaarde laat zien, dat bij de inzetten in de aangrenzende ruimte, de stralingswaarden aanmerkelijk hoger liggen dan bij de nulmeting. De grootste toename van de straling treedt op bij de inzet van de CC. Het inzetten op de aangrenzende ruimte heeft dan ook een vermoedelijk negatief effect op de parameter straling voor overleefbaarheid. De toename van de straling op slachtofferniveau wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een werveling of daling van de

rookgaslaag als gevolg van de inzet van de offensieve buitentechniek.

### ***Koolmonoxide (CO)***

Bij de inzet rechtstreeks in de brandruimte, in het scenario van een gebouw met één ruimte, blijkt dat in de nulmeting, dus zonder offensieve buiteninzet, de grenswaarde voor CO wordt overschreden. Bij beide inzetten van CC, FN en NK wordt de grenswaarde overschreden. Bij de inzet van DLS en LD is dit bij één inzet wel het geval, en bij de andere niet. Als gekeken wordt naar de mate van overschrijding, dan liggen de waarden in de nulmeting vele malen hoger dan die van de offensieve buiteninzettechnieken. De inzet lijkt daarmee een positief effect te hebben op de parameter CO voor overleefbaarheid.

Bij de inzet in de aangrenzende ruimte in het scenario van een gebouw met twee ruimten, wordt in de nulmeting bij alle drie slachtoffers de grenswaarde voor CO overschreden. Dit is ook het geval bij alle offensieve buiteninzettechnieken, met uitzondering van éénmaal een inzet met de CC, waarbij voor het slachtoffer het verst van de vuurhaard de grenswaarde niet wordt overschreden. Hoewel de offensieve buiteninzettechnieken tijdens de inzet over het algemeen hogere waarden voor CO laten zien dan de nulmeting, is de spreiding dusdanig groot dat over het effect van offensieve buiteninzettechnieken in deze situatie op CO geen harde conclusies te trekken zijn. Wel is helder dat, als er geen inzet wordt gedaan, deze grenswaarde in elk geval wordt overschreden.

### ***Zuurstof (O<sub>2</sub>)***

Bij de inzet rechtstreeks in de brandruimte, in het scenario van een gebouw met één ruimte, blijkt dat in de nulmeting, dus zonder offensieve buiteninzet, het O<sub>2</sub>-percentage daalt tot op of onder de grenswaarde. Bij alle offensieve buiteninzettechnieken wordt de grenswaarde voor O<sub>2</sub> niet overschreden. De offensieve buiteninzettechnieken lijken daarmee een positief effect te hebben op de parameter O<sub>2</sub>.

Bij de inzet in de aangrenzende ruimte in het scenario van een gebouw met twee ruimten, wordt in de nulmeting bij twee van drie slachtoffers de grenswaarde voor O<sub>2</sub> niet overschreden. De overschrijding vindt plaats bij het slachtoffer het verst van de brandhaard. Voor het slachtoffer het dichtst bij de inzetplaats (het verst van de vuurhaard) hebben alle technieken, met uitzondering van de NK, een positief effect. Voor het tweede slachtoffer wordt een negatief effect gevonden voor de NK, en is wisselend beeld te zien bij de CC en de FN. De overige technieken kennen geen negatief effect. De NK heeft als enige tijdens één van de twee inzetten een negatief effect op het O<sub>2</sub>-percentage voor het slachtoffer bij de vuurhaard.

### ***Stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>)***

Bij de inzet rechtstreeks in de brandruimte, in het scenario van een gebouw met één ruimte, blijkt dat in de nulmeting, dus zonder offensieve buiteninzet, de grenswaarde voor NO<sub>x</sub> niet wordt overschreden. Ditzelfde geldt voor alle offensieve buiteninzettechnieken.

Bij de inzet in de aangrenzende ruimte in het scenario van een gebouw met twee ruimten, wordt in de nulmeting bij geen van de slachtoffers een overschrijding van de grenswaarde voor NO<sub>x</sub> gezien. Dit is ook het geval bij de inzetten met NK, RV, DLS en LD. Bij de CC wordt in beide inzetten de grenswaarde bij slachtoffer 2 overschreden, en bij één van de twee inzetten met de FN.

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

Er is onderzocht wat het effect is, als na het bereiken van de temperatuur van 150 °C in de brandruimte de offensieve buiteninzet eindigt en de deur geopend wordt ten behoeve van een offensieve binneninzet. Deze binneninzet heeft niet daadwerkelijk plaatsgevonden, uitsluitend het effect van het openen van de deur gedurende maximaal 5 minuten is hierbij onderzocht.

Bij de inzet rechtstreeks in de brandruimte, in het scenario van een gebouw met één ruimte, blijkt dat na het staken van de offensieve buiteninzet, er na de inzet met LD en DLS *geen* heroplaaiing plaatsvindt gedurende 5 minuten. Bij FN, NK en CC vindt er wel een heroplaaiing plaats, na 60-180 seconden, afhankelijk van de techniek. Vrijwel in alle gevallen wordt daarbij de kritische grenstemperatuur van 700 °C bereikt binnen deze 5 minuten. In alle gevallen gaat de temperatuurstijging na de heroplaaiing snel: binnen een halve tot één minuut loopt de temperatuur van 150-200 °C op naar temperaturen van 700 °C.

Bij de offensieve buiteninzet in de aangrenzende ruimte in het scenario van een gebouw met twee ruimten, was alleen LD in staat binnen 10 minuten de temperatuur in de brandruimte onder de 150 °C te brengen. Na het openen van de deur vindt echter bij beide inzetten een heroplaaiing plaats, na 150-190 seconden. Als de heroplaaiing eenmaal plaatsvindt, dan is er sprake van een stijging van de temperatuur binnen een minuut vanaf de heroplaaiing naar boven de 600 °C.

**Hoofdvraag: In hoeverre kunnen met de gekozen offensieve buiteninzet technieken de beoogde doelen voor een offensieve buiteninzet worden bereikt bij een ventilatiegecontroleerde brand in een klein pand met een of meerdere ruimten en in hoeverre blijven deze effecten in stand na het beëindigen van de offensieve buiteninzet?**

De offensieve buiteninzet kent een drietal doelen.

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

Bij de beantwoording van deze hoofdvraag is in onderstaande tabel voor elk doel op hoofdlijnen aangegeven in hoeverre dit onder de proefomstandigheden kon worden bereikt.

Doel offensieve buiteninzet	Inzet op...	CC	NK	FN	RV	DLS	LD
Met een offensieve buiteninzet kan de brand van buitenaf worden geblust	Brandruimte	✓	✓	✓	n.v.t.	✓	✓
	Aangrenzende ruimte	✗	✗	✗	✗	✓✗	✓
Met een offensieve buiteninzet kunnen de rookgassen binnen voldoende worden gekoeld, zodat een veilige situatie wordt gecreëerd voor een offensieve binneninzet	Brandruimte	✓	✓	✓	n.v.t.	✓	✓
	Aangrenzende ruimte	✗	✗	✗	✗	✗	✓
Met een offensieve buiteninzet kan het niveau van de parameters voor overleefbaarheid behouden of verbeterd worden	Brandruimte	✓	✓	✓	n.v.t.	✓	✓
	Aangrenzende ruimte	✗	✗	✗	✓	✗	✗

Wat betreft de blussing zijn zowel CC, NK, FN, DLS als LD in staat om, bij de inzet gericht op de brandruimte, de vuurhaard te blussen in de vorm van een knockdown. Bij de situatie met inzet op de aangrenzende ruimte, en dus niet rechtstreeks in de brandruimte, zijn behalve RV, alle technieken in eerste instantie in staat om een knockdown te creëren. Maar alleen bij LD en bij één experiment met DLS is deze knockdown blijvend van aard. Bij de overige technieken vindt er nog tijdens de offensieve buiteninzet een heroplaaiing van de brand plaats.

Wat betreft de rookgaskoeling zijn alle onderzochte technieken in staat om binnen een minuut na de start van de inzet, rechtstreeks in de brandruimte de temperatuur voldoende omlaag te brengen voor een veilige offensieve binneninzet. Onder de proefomstandigheden blijkt dat na een offensieve buiteninzet rechtstreeks in de brandruimte, er met alle technieken in deze omstandigheden voldoende tijd is om over te schakelen op een offensieve binneninzet. Immers, de ploeg is dan in de brandruimte en er zijn 1-3 minuten beschikbaar voordat de brand heroplaait. Als deze heroplaaiing plaatsvindt, dan is snel ingrijpen noodzakelijk omdat dit gepaard gaat met een snelle temperatuurstijging.

Bij de inzet in een gebouw met twee ruimten, met inzet niet rechtstreeks in de brandruimte, blijken offensieve buiteninzetten met LD en in mindere mate met DLS (één van de twee experimenten) in staat om ook in een aangrenzende ruimte een inzet te doen met effect in de brandruimte. RV veroorzaakt een toename van de temperatuur in de brandruimte. De andere technieken volgen het natuurlijk brandverloop in de brandruimte en hebben daar dus niet of nauwelijks effect op de temperatuur. Het gevolg na een eerste daling is, nog tijdens de offensieve buiteninzet, een toename van de temperatuur naar de starttemperatuur. Wel koelen alle technieken de ruimte waarop zij worden ingezet snel en effectief. Na de geslaagde offensieve buiteninzet blijkt er bij LD in principe voldoende tijd om over te

schakelen op een offensieve binneninzet. Ook in dat geval is een vlot verlopende offensieve binneninzet richting de vuurhaard noodzakelijk, omdat ook hier een eenmaal oplaaierende brand leidt tot een snelle stijging van de temperatuur.

Op het gebied van parameters voor overleefbaarheid blijkt dat er een aantal factoren van invloed zijn op de overschrijding van de grenswaarde. Het gaat daarbij niet alleen om de offensieve buiteninzettechniek, maar ook om de locatie van het slachtoffer ten opzichte van de vuurhaard en de lay-out van de ruimte(n). Heel algemeen lijkt het erop dat een offensieve buiteninzet rechtstreeks in de brandruimte, waarbij het slachtoffer zich in deze ruimte bevindt, veelal een positief effect heeft ten opzichte van niets doen.

Bij een inzet in de aangrenzende ruimte lijkt het erop dat dit veelal een negatief effect heeft ten opzichte van het niet uitvoeren van een inzet. De negatieve effecten hebben vooral betrekking op een toename van de straling, in mindere mate op een afname van het O<sub>2</sub>-gehalte en een toename van NO<sub>x</sub> op slachtofferniveau. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een werveling of daling van de rookgaslaag. Het effect op het CO-gehalte is niet goed vast te stellen.

Samengevat heeft een offensieve buiteninzet rechtstreeks in de brandruimte in de onderzochte omstandigheden het grootste effect voor het bereiken van de doelen op het gebied van blussing, koeling van de rookgassen en verbetering van de parameters voor overleefbaarheid.

Offensieve buiteninzetten in de aangrenzende ruimte lijken op basis van deze onderzoeksresultaten nauwelijks effectief om de doelen van de offensieve buiteninzet in de brandruimte te bereiken. Wel is er sprake van een koeling in de aangrenzende ruimte. Voor koeling en blussing lijken LD en DLS van alle technieken het meest bruikbaar in een dergelijke situatie. Voor verbetering van de overleefbaarheid is dit het meest het geval voor repressieve ventilatie in de aangrenzende ruimte.

Na een geslaagde offensieve buiteninzet is er in deze omstandigheden voldoende tijd om veilig over te schakelen op een offensieve binneninzet. Wel is dan een vlot verlopende offensieve binneninzet richting de vuurhaard noodzakelijk, omdat een eenmaal oplaaierende brand leidt tot een snelle stijging van de temperatuur.

Na de afronding van het (volgende) rapport van de OBI-5 experimenten, zullen de resultaten van alle OBI experimenten in een handzame samenvatting worden opgenomen.

# 6 Discussie

In deze discussie wordt ingegaan op de waarde van het onderzoek en de duiding van de resultaten voor de wetenschap en de brandweerpraktijk.

In dit onderzoek zijn twee configuraties onderzocht: een gebouw met één ruimte, met inzet rechtstreeks op de brandruimte, en een gebouw met twee ruimten waarbij niet in de brandruimte, maar in de aangrenzende ruimte is ingezet. Omdat bij dit project, in tegenstelling tot de eerdere OBI-experimenten, telkens een nieuwe brand gebruikt is voor het onderzoeken van het effect van de technieken, is het mogelijk de technieken beter met elkaar te vergelijken en het effect van de locatie van inzetten goed in beeld te brengen. Daarnaast zijn bij dit onderzoek, wederom in tegenstelling tot de eerdere OBI-experimenten, meer parameters gemeten, met name het op gebied van overleefbaarheid. Verder zijn voor ieder scenario nulmetingen uitgevoerd, waardoor de veronderstelde effecten ook daadwerkelijk wel of niet aan de inzet konden worden toegeschreven.

## Beperkingen van het onderzoek

Desalniettemin kent dit onderzoek, net als ieder ander onderzoek, een aantal beperkingen. De belangrijkste beperking is dat het onderzoek slechts in twee configuraties, met één vuurlast en één inzetwijze, is onderzocht. Hierbij was sprake van een niet uitbreidbare vuurlast en een stalen container. Andere configuraties, vuurlasten, objecten of inzetwijzen kunnen tot andere conclusies leiden. De resultaten moeten worden gezien binnen de gekozen onderzoeksopzet, toegepaste technieken en werkwijzen, en scenario's.

Een verdere beperking van het onderzoek was de invloed van het weer, welke niet uit te sluiten was.

Bij de straalpijpvoering is uitgegaan van de op dit moment gebruikelijke wijze van werken. Brandweerkorpsen uit Nederland, die dagelijks werken met de onderzochte technieken, is gevraagd om de inzetten conform hun toepassingswijze uit te voeren. Deze toepassingswijzen zijn niet altijd gebaseerd op eerder onderzoek. Het zou dus kunnen, dat er meer effectieve toepassingswijzen bestaan met dezelfde techniek dan de toegepaste wijze.

Daarnaast moet worden opgemerkt dat de keuze voor 150 °C een aangenomen temperatuur is welke via expert judgement is vastgesteld. Daarbij moet gesteld worden dat de grenswaarde in dit onderzoek als harde grens is genomen, terwijl dit in de praktijk deels afhankelijk is van de omstandigheden.

Datzelfde geldt voor de grenswaarden straling, CO, O<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub>: ook hier is de grenswaarde als harde grens aangenomen. Wat betreft de parameters voor overleefbaarheid zijn nadrukkelijk de volgende kanttekeningen te plaatsen.<sup>33</sup>

- > Deze inschatting 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 procent van de bevolking.
- > Dit betreft een theoretische inschatting op basis van enkele factoren. De combinatie van factoren kan slecht worden gekwantificeerd, maar zal in de praktijk een (negatief) effect hebben.
- > De grenswaarden van de losse factoren zijn ontleend aan literatuur. Op basis hiervan is een inschatting gemaakt van de grenswaarden. Hierbij is zoveel mogelijk aangesloten bij internationaal geldende richtlijnen voor Fire Safety Engineering. Nadere informatie is opgenomen in bijlage C.

<sup>33</sup> Deze tekst is gedeeltelijk eerder opgenomen in de twee genoemde onderzoeksrapporten.



- > Bij irriterende stoffen zoals NO<sub>x</sub>, 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 reanimatie na redding is niet in dit onderzoek opgenomen.
- > Het effect van grote hoeveelheden schuim of water op het menselijk lichaam, bijvoorbeeld vanwege de chemische samenstelling of effecten voor bijvoorbeeld onderkoeling, zijn niet meegenomen.
- > Andere parameters dan temperatuur, straling, O<sub>2</sub>, CO en NO<sub>x</sub> zijn niet meegenomen, terwijl parameters als blauwzuur en luchtvochtigheid ook een rol spelen.

Wat betreft de onderzoeksopzet zijn alle experimenten slechts tweemaal uitgevoerd. In het verleden werden experimenten vijf maal uitgevoerd per techniek, maar vanwege de grote mate van representativiteit in het verleden en beperkingen in budget en tijd is ervoor gekozen om twee scenario's te onderzoeken, waarbij elke techniek tweemaal is ingezet. In een aantal gevallen was dit voldoende, omdat beide experimenten vergelijkbare resultaten gaven. Er zijn echter ook verschillen gezien tussen twee identiek uitgevoerde experimenten. Voor toekomstig onderzoek is het daarom raadzaam het minimum aantal herhalingen van twee te heroverwegen.

Het object waarin het onderzoek is uitgevoerd was bedoeld als weergave van een klein kantoorpand. Omdat het een stalen container betrof, is in eerste instantie voor het creëren van een realistische omgeving geprobeerd het object te isoleren met steenwolplaten voorzien van een waterafstotende laag. Bij de testexperimenten is gebleken dat deze isolatie niet dusdanig bevestigd kon worden, dat deze gedurende de experimenten in stand bleef. Omdat er geen alternatief was, is besloten de experimenten alsnog uit te voeren in niet geïsoleerde containers. Het nadeel hiervan is enerzijds dat de niet geïsoleerde metalen wanden eerder opwarmen dan geïsoleerde reguliere wanden van een kantoorpand. Anderzijds is aan de buitenzijde de warmteafgifte in een niet geïsoleerde container groter, waardoor er ook eerder sprake is van afkoeling via de buitenzijde dan bij een geïsoleerde wand.

Daarnaast moet worden opgemerkt dat de containers geen gelijke luchtdichtheid kennen als die van een regulier kantoorpand. Dit kan van invloed zijn op de brandontwikkeling. De gebruikte vuurlast is representatief voor een kantooromgeving. Enige vorm van uitbreiding was mogelijk door de spaanplaten welke rondom de vuurhaard gesitueerd waren. Desalniettemin zijn de uitbreidingsmogelijkheden in de onderzochte omgeving beperkter dan in een daadwerkelijk kantoorpand.

### Interpretatie van de resultaten

Bij de interpretatie van de resultaten is het van belang te melden dat de gevonden resultaten en conclusies alleen gelden voor de in dit onderzoek beschreven wijze van inzetten en proefopzet. Andere toepassingstechnieken of omstandigheden kunnen tot andere resultaten leiden.

In het rapport zijn de resultaten van de offensieve buiteninzetten afgezet tegen de nulmetingen, waardoor het mogelijk was gevonden effecten daadwerkelijk te relateren aan de technieken. Bij de nulmeting is er vanuit gegaan dat er geen handeling plaatsvindt door de brandweer. Er zijn echter naast de onderzochte offensieve buiteninzettechnieken ook nog andere handelingsperspectieven in dergelijke situaties, zoals het creëren van een opening waardoor de warmte en rook kunnen worden afgevoerd of het uitvoeren van een offensieve binnenzet. De effecten van de offensieve buiteninzetten zijn niet gerelateerd aan andere alternatieve handelingen door de brandweer bij aankomst.

Opvallend is de gevonden toename in de straling, precies op het moment dat een aantal offensieve buiteninzettechnieken starten. Dit was van tevoren niet de verwachting, in het bijzonder niet in de aangrenzende ruimte. Om uit te sluiten dat de gevonden waarden het gevolg waren van een meetfout, zijn aanvullende proeven gedaan. Daarbij is tweemaal het effect onderzocht van alleen het inzetten van een straal LD, zonder de aanwezigheid van brand, rook of hitte. In tegenstelling tot de offensieve buiteninzettechnieken met LD, is er dan geen toename van de straling te zien.

Vervolgens is gezocht naar mogelijke verklaringen voor het gevonden effect dat zich wel voordoet bij inzet met brand, rook en hitte. Mogelijke verklaringen zijn:

- > reflectie van straling door waterdruppels
- > de werveling van hete rookgassen als gevolg van de inzet, waardoor de straling op slachtofferniveau toeneemt
- > de mogelijkheid dat stoom als gevolg van de omgevingstemperatuur de stralingstoename kan verklaren.

Door middel van een extra experiment na afloop van de nulmeting, is de mogelijke verklaring van stoom als onwaarschijnlijk betiteld. Na afloop van de nulmeting voor ruimte 4 was er geen sprake meer van zichtbare rookgassen. Wel was de temperatuur in de container op dat moment ruim 400 °C. Daarop is nogmaals een identieke offensieve buiteninzet met LD gedaan, vanaf dezelfde locatie als de inzetten waarbij ook sprake was van rook. In de situatie zonder de aanwezigheid van rookgassen was een zichtbare verstoring van het water te zien bij een omgevingstemperatuur van 400 °C, maar was er geen sprake van een toename van de straling zoals bij de offensieve buiteninzettechnieken.

Aangezien de toename van de straling ook gezien wordt bij RV, zij het in mindere mate dan bij de technieken die wel water gebruiken, lijkt de verklaring dat de werveling van hete rookgassen de oorzaak is van de straling de meest waarschijnlijke. Dit zou wellicht versterkt kunnen worden door eventuele reflectie van waterdruppels. Op basis van het bovenstaande wordt aangenomen dat de gemeten toename van de straling logischerwijs verklaard kan worden door opmenging of verplaatsing van de rookgassen. Ook bij de nulmeting is een beperkte toename van de straling te zien, welke waarschijnlijk het gevolg is van het sluiten van de deur, waardoor de rookgaslaag enigszins zakt. De gevonden effecten tijdens de offensieve buiteninzettechnieken zijn echter groter dan uitsluitend dit effect.

## Overige waarnemingen

Tijdens het onderzoek zijn nog een aantal andere waarnemingen gedaan, welke niet direct betrekking hebben op de onderzoeksvragen, maar wel opvielen. Het gaat om de volgende waarnemingen.

- > *Straling en CO zijn voorname parameters op het gebied van overleefbaarheid*

In het onderzoek is gebleken dat met name straling en CO parameters zijn, waarvan de grenswaarde relatief snel wordt overschreden. Daarentegen worden grenswaarden voor O<sub>2</sub> en temperatuur onder de proefomstandigheden minder vaak overschreden dan verwacht. Het is van belang bij een eventuele inzet deze kennis mee te nemen, om zo de omstandigheden voor het slachtoffer zo optimaal mogelijk te houden/te krijgen.

- > *De CO-waarden in de rookgaslaag overschreden ruim de onderste explosiegrens*

Tijdens de experimenten is meermalen een CO-concentratie gemeten van ruim boven de onderste explosiegrens van 110.000 ppm. Dit betekent dat ook een beperkte brand, met een relatief beperkte vuurlast, kan leiden tot risicovolle situaties bij binnentreding, in de vorm van een explosieve rookgasontbranding.

Dat de rookgaslaag voldoende brandstof en temperatuur bevatte om te ontbranden, en er alleen nog O<sub>2</sub> nodig was, is gebleken toen bij de nulmeting de rookgassen die zich door de kieren naar buiten persten spontaan ontbrandden.

- > *Ondergeventileerde branden zijn niet persé zichtbaar aan de buitenkant*

Verder is opgevallen dat in een aantal situaties de signalen aan de buitenzijde van het pand tijdens de brand niet dusdanig waren, dat hierdoor de ondergeventileerde brand duidelijk herkenbaar was. De aanwezige meters in het pand gaven hoge, soms zelfs explosieve waarden aan voor CO en extreem lage waarden voor O<sub>2</sub> (bijvoorbeeld 0,2%). Dit kan ertoe leiden dat de situatie binnen, aan de buitenzijde niet wordt herkend. Dit kan leiden tot een potentieel gevaar bij binnentreden.

Dit onderzoek maakt deel uit van een onderzoeksprogramma van vijf stappen. Met dit rapport is aan de vierde stap invulling gegeven. Hierdoor is voor het eerst inzicht gegeven in de effectiviteit van de technieken wanneer zij rechtstreeks in de brandruimte, of daarbuiten, worden ingezet bij een gelijke vuurlast. Ook zijn voor het eerst effecten van de parameters voor overleefbaarheid onderzocht. Hiermee krijgt de brandweer inzicht in het effect van haar handelen en biedt dit handelingsperspectief bij het uitvoeren van een redding. Dit handelingsperspectief wordt verder versterkt door het uitvoeren van het laatste deel van het onderzoek (OBI 5). Tezamen met de eerdere onderzoeken is het mogelijk de brandweer te voorzien van praktijkgerichte, op wetenschap gebaseerde handelingsperspectieven. Op deze manier wordt geprobeerd het brandweeroptreden nog effectiever en veiliger te maken, zodat zowel voor aanwezige slachtoffers als voor het eigen personeel bij een inzet de meest geschikte inzettechnieken gekozen kan worden.

# Bronnenlijst

Alarie, Y. (2002). Toxicity of fire smoke. *Critical reviews in Toxicology*, 32(4), 259-289.

Brown, S.K. & Cheng, M. (2000). *Volatile organic compounds (VOCs) in new car interiors*. Gepresenteerd op: 15th International Clean Air & Environment Conference, Sydney, Australia.

Dikkenberg, R. Van den & Groenewegen, K. (2015). *De offensieve buiteninzet. Compleet of compleet? Een onderzoek naar het effect van coldcutters, nevelkogel, fognails, repressieve ventilatie, drukluchtschuim, hoge druk en lage druk als offensieve buiteninzettechnieken in een gebouw met meerdere ruimten*. Arnhem: IFV.

Guillaume, E., Didieux, F., Thiry, A. & Bellivier, A. (2014). Real-scale fire tests of one bedroom apartments with regard to tenability assessment. *Fire Safety Journal*, 70, 81-97.

Hazebroek, J.C., Greven, F.E., Groenewegen, K. & Dikkenberg, R. Van den (2015). *'Het kan verkeren'*. Beschrijvend onderzoek naar brandontwikkeling en overleefbaarheid bij woningbranden. Arnhem: IFV.

Kobes, M. & Groenewegen, K. (2015). *Gebrand op inzicht. Een onderzoek naar de effectiviteit van rookmelders*. Arnhem: IFV.

Lipsett, M.J., Shusterman, D.J. & Beard, R.R. (1994). Industrial hygiene and toxicology, Vol. II, part F. - Phosgene. In: Raaij, M.T.M. Van & Schefferlie, G.J. (Eds.) (2006). *De veiligheids- en gezondheidseffecten van werken in een besloten hypoxische omgeving*. Utrecht: RIVM/SIR.

Purser, D. (2002). Toxicity Assessment of Combustion Products. In: *SFPE handbook of fire protection engineering*, P.J. DiNunno (Ed.). Quincy: National Fire Protection Association.

Raaij, M.T.M. Van & Schefferlie, G.J. (2006). *De veiligheids- en gezondheidseffecten van werken in een besloten hypoxische omgeving*. Den Haag: RIVM.

## Websites

United States Environmental Protection Agency, *Acute Exposure Guideline Levels for Airborne Chemicals*: <http://www.epa.gov/oppt/aegl/pubs/define.htm>

Antigif centrum, *Wat zijn toxische gehalten aan CO?*, <http://www.antigifcentrum.be/co-vergiftiging/co-wettenschappelijk-bekeken/wat-zijn-toxische-gehalten-aan-co>

# Bijlage A Gebruikte meetapparatuur

## Thermokoppels

Tabel A1.

	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.

## Camera's

Tabel A2.

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

## Straling

Tabel A3.

Stralingsmeter	
Merk	Hukseflux thermal sensors
Type	SGB 01 water-cooled heatflux sensor, type 50 (working range)
Aantal	5
Range	0 – 200 kW/m <sup>2</sup> , range .50 50-75 kW/m <sup>2</sup>
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

## Koolmonoxide (CO), zuurstof (O<sub>2</sub>) en stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>)

Tabel A4.

Gasanalyse	
Merk	Testo
Type	Testo 350 Portable Emission Analyzer
Aantal	3
Gebruikte sensoren	CO (H <sub>2</sub> ), NO <sub>2</sub> , NO, O <sub>2</sub>
Probetape	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	Voor iedere meting worden alle filters gecontroleerd 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 B 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 in de verschillende ruimten met elkaar te kunnen vergelijken zijn twee correcties uitgevoerd. Allereerst is het werkelijke inzetmoment bepaald op basis van de waargenomen temperatuurdaling. In sommige gevallen is de inzet namelijk vanwege de reactietijd niet exact op het door de onderzoeksleider aangegeven moment gestart, maar enkele seconden later. Vervolgens is de relatieve temperatuur voor de gemeten waarden bepaald. Hiervoor is de starttemperatuur op waarde '0' gesteld en zijn de overige meetwaarden gecorrigeerd aan de hand van de starttemperatuur. Deze relatieve waarden geven per thermokoppel de gemeten temperatuurdaling of -stijging weer, waardoor verschillen in de absolute waarde van de starttemperatuur zijn vereffend.

## Reproduceerbaarheid van de brandontwikkeling

Na het aansteken van de brand werd op basis van het bereiken van de maximale temperatuur in de brandruimte 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 in brandruimte weergegeven, alsmede de gemiddelde tijdsduur van de opwarmfase. In tabel B2 zijn de starttemperaturen voor de experimenten in aangrenzende ruimte weergegeven, alsmede de gemiddelde tijdsduur van de opwarmfase.

De analyse is uitgevoerd op thermokoppel 11 (TK11) aangezien deze zich het dichtst bij de vuurhaard bevindt.

**Tabel B1. Starttemperatuur (°C) brandruimte (TK11) en gemiddelde tijdsduur van de opwarmfase(s) per techniek bij inzet in gebouw met één ruimte**

Techniek	Gemiddelde starttemperatuur TK11	Minimum starttemperatuur TK11	Maximum starttemperatuur TK11	Gemiddelde tijdsduur opwarmfase in seconden
Nulmeting	496	494	497	349
CC	495	483	507	336
NK	494	490	498	201
FN	488	483	492	241
DLS	494	490	497	171
LD	484	480	488	308

**Tabel B2. Starttemperatuur (°C) in brandruimte (TK11) en gemiddelde tijdsduur van de opwarmfase(s) per techniek bij inzet in gebouw met 2 ruimten in aangrenzende ruimte**

Techniek	Gemiddelde starttemperatuur TK11	Minimum starttemperatuur TK11	Maximum starttemperatuur TK11	Gemiddelde tijdsduur opwarmfase in seconden
Nulmeting	589	-	-	253
CC	527	471	582	274
NK	473	453	492	269
FN	495	493	497	257
RV	494	490	498	237
DLS	497	494	499	242
LD	490	489	491	240

### Statistische toets

Uit een statistische analyse blijkt dat de starttemperaturen niet significant verschillen in de brandruimte ( $F=0.630$ ;  $p=0.685$ ) en de aangrenzende ruimte ( $F=1.587$ ;  $p=0.294$ ).

De tijdsduur van de opwarmfase verschilt wel significant ( $F=4.780$ ;  $p=0.042$ ) bij inzetten in de brandruimte. De gemiddelde tijdsduur van de opwarmfase bij de nulmeting en experimenten met CC en LD was beduidend langer dan bij de experimenten met de overige technieken. Mogelijk wordt dit verklaard door de experimentvolgorde en details bij het opstoken.

Bij inzetten in de aangrenzende ruimte is er geen significant verschil in de tijdsduur van de opwarmfase ( $F=0.949$ ;  $p=0.525$ ).



# Bijlage C

## Bepaling grenswaarden<sup>34</sup>

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 getest 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 sprake is van aanwezigheid koolmonoxide (CO), zijn er veelal ook stikstofoxide (NO<sub>x</sub>) en andere verbrandingsgassen aanwezig. Waar een hoge temperatuur is, is veelal ook sprake van hittestraling (en CO en NO<sub>x</sub>). 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/m<sup>2</sup>)
- > verstikkende rookgassen in de vorm van CO in parts per million (ppm)
- > verstikkende omstandigheden in de vorm van een te laag O<sub>2</sub>-percentage (%).
- > irriterende rookgassen in de vorm van NO<sub>x</sub> 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.

### Temperatuur

Voor overleving zijn er geen uniforme grenswaarden voor temperatuur bekend. Aangenomen wordt op basis van Purser (2002) dat een temperatuur van 120 °C<sup>35</sup> op slachtofferniveau (50 cm) leidt tot het niet kunnen overleven van de brand.

<sup>34</sup> Een deel van deze tekst is eerder gepubliceerd in *Gebbrand op inzicht* (Groenewegen & Kobes, (2015) en *Het kan verkeren* (Hazebroek, Groenewegen & Van den Dikkenberg, 2015).

<sup>35</sup> Hazebroek e.a. (2015) gaat uit van 150 °C.

## Straling

Wat betreft straling wordt gekozen voor een grenswaarde van 6 kW/m<sup>2</sup>, 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 C1. AEGL-niveaus<sup>36</sup>

Niveau	Beschrijving
AEGL-1	De concentratie in de lucht (in ppm of mg / m <sup>3</sup> ) 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 <sup>3</sup> ) 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 <sup>3</sup> ) 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 C2. 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

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.

<sup>36</sup> Bron: <http://www.epa.gov/oppt/aegl/pubs/define.htm>

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 ppm<sup>37</sup>. In Brown en 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 en Cheng (2000) van een acute dosis van 8000 ppm.

### Zuurstof (O<sub>2</sub>)

Uit de rapportage *De veiligheids- en gezondheidseffecten van werken in een besloten omgeving met te weinig zuurstof* (Van Raaij & Schefferlie, 2006) is de hierna volgende informatie ontleend. Bij afname van het percentage O<sub>2</sub> doen de volgende symptomen zich voor, waarbij de ernst oploopt naarmate het percentage O<sub>2</sub> 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, slaapstoornis
- > Uitputting, geheugenverlies
- > Bewusteloosheid, onregelmatige ademhaling
- > Ademhaling stopt, hartfalen, letaliteit

Lippsett e.a. (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 C3. Percentage O<sub>2</sub> en gezondheidseffecten**

O <sub>2</sub> %	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	Stuip trekkingen, naar adem snakken, ademhaling stopt na een paar minuten gevolgd door hartfalen.

Volgens Alarie (2002) zal zich verspreidende rook, waarin het O<sub>2</sub>-niveau lager is dan 7 procent, een primaire oorzaak zijn van gebrek aan mobiliteit en dood. Een zodanig laag O<sub>2</sub>-percentage komt echter niet voor als er niet tegelijkertijd sprake is van rook met een zeer hoge temperatuur. Hierdoor treedt het effect van O<sub>2</sub>-tekort tegelijkertijd op met verbranding van de huid en warmtestuwing. Dit effect treedt extreem snel op. Een O<sub>2</sub>-percentage van 6 procent wordt als letaal aangemerkt.

<sup>37</sup> Bron: <http://www.antigifcentrum.be/co-vergiftiging/co-wetenschappelijk-bekeken/wat-zijn-toxische-gehalten-aan-co>

## Stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>)

Voor overleving wordt in de literatuur (onder andere Guillaume, 2014) uitgegaan van de AEGL-3 waarde. Hierbij wordt uitgegaan van de AEGL-niveaus van stikstofdioxiden (NO<sub>x</sub>). Voor NO<sub>x</sub> wordt 50 procent letaliteit onder de bevolking pas bij zeer hoge waarden bereikt, maar een concentratie NO<sub>x</sub> 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 C4. In onderstaande tabel zijn de waarden voor de verschillende AEGL-niveaus weergegeven voor NO<sub>x</sub>.

Tabel C4. Grenswaarden voor AEGL voor NO<sub>x</sub>

Niveau	Stikstofoxiden (NO <sub>x</sub> )	
	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 10 minuten was waardoor de blootstelling kortdurender was, en er hogere waarden gemeten konden worden dan de in de tabel genoemde, is dit voor dit onderzoek geen bruikbare grenswaarde.

Een alternatief is het gebruik van de waarden uit de safety worksheet voor NO<sub>x</sub>. 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 C5. Parameters en grenswaarden

Parameter	Grenswaarde
Temperatuur	$T \geq 120$ graden Celsius
Straling	$\geq 6,0$ kW/m <sup>2</sup>
CO	$\geq 8000$ ppm
O <sub>2</sub>	$\leq 6,0$ %
NO <sub>x</sub>	$> 150$ ppm

# Bijlage D Grafieken

Niet alle grafieken zijn in het hoofdrapport opgenomen. Alleen voor die situaties waar grenswaarden werden bereikt zijn de grafieken in het hoofdrapport opgenomen. In de overige gevallen zijn de grafieken in deze bijlage terug te vinden. Daarbij is onderscheid gemaakt naar inzettechniek en op welke ruimte er werd ingezet.

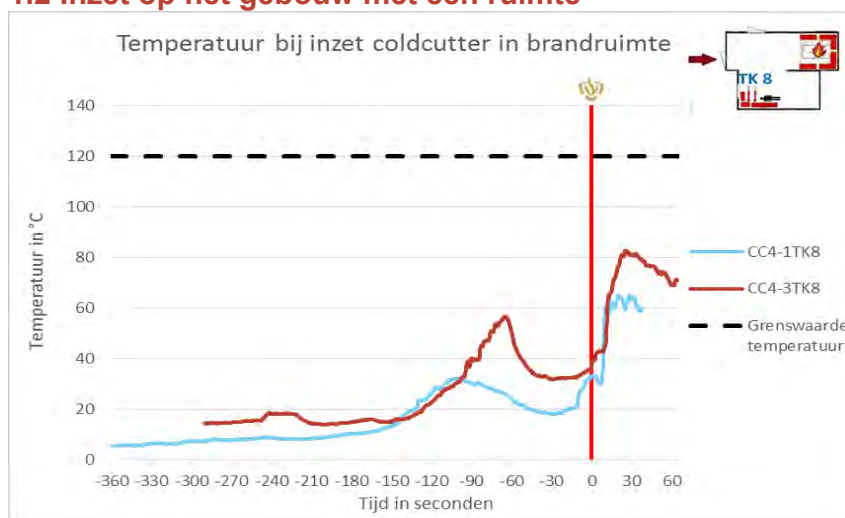
## 1. Coldcutter (CC)

### 1.1 Maximale waarde grenswaarden in opstart- en inzetfase bij inzet op een gebouw met één ruimte

Tabel D1.

		Temperatuur in °C		Straling in kW/m <sup>2</sup>		CO in ppm		O <sub>2</sub> in % <sup>38</sup>		NO <sub>x</sub> in ppm	
		CC 4-1	CC 4-3	CC 4-1	CC 4-3	CC 4-1	CC 4-3	CC 4-1	CC 4-3	CC 4-1	CC 4-3
Slachtoffer 3	Maximale waarde opstartfase	33	56	2,7	2,2	23870	22772	6,8	10,9	-	10
	Maximale waarde inzetfase**	65	83	2,5	7,4	16457	26911	13,7	12,9	-	50
	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Ja (I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Nee	Nee	- <sup>39</sup>	Nee

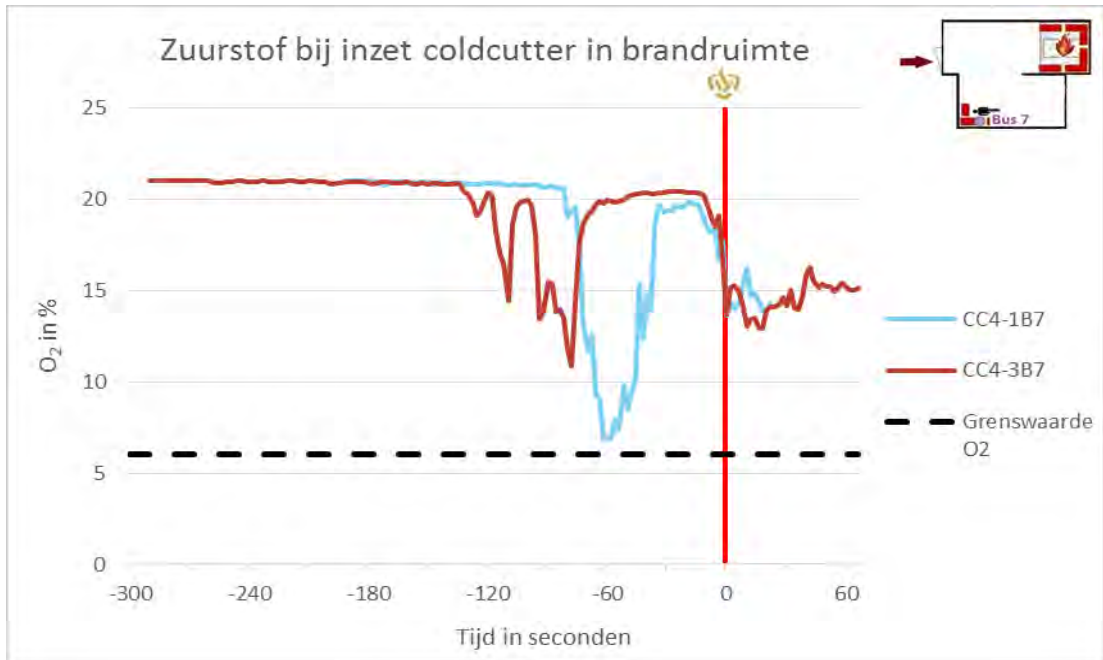
### 1.2 Inzet op het gebouw met één ruimte



Figuur D1.

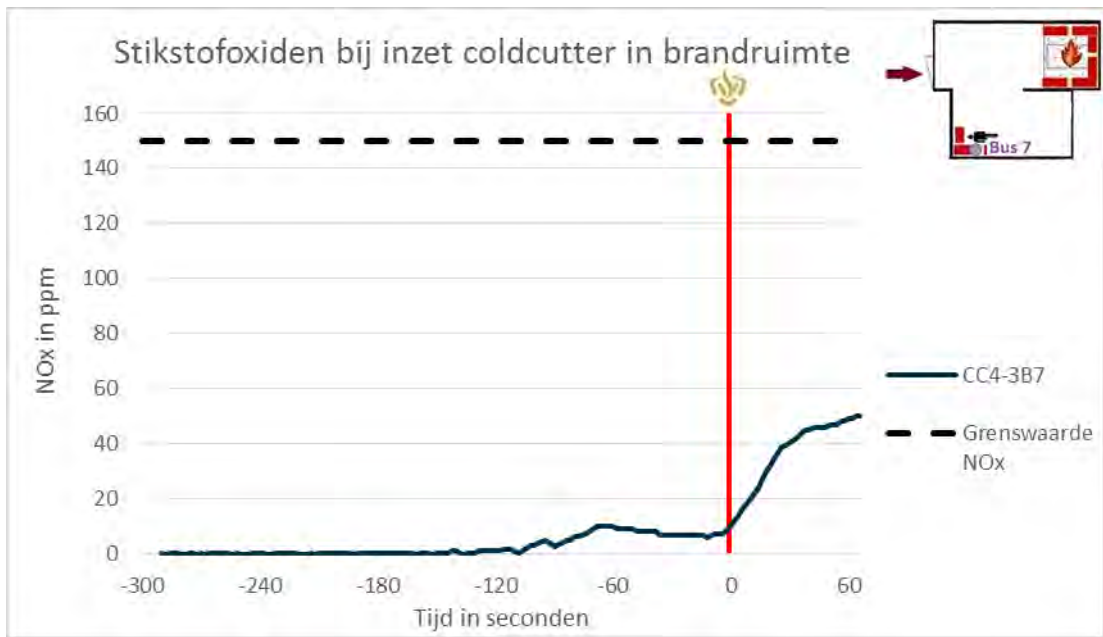
<sup>38</sup> Voor de parameter O<sub>2</sub> is het laagste O<sub>2</sub>-gehalte opgenomen.

<sup>39</sup> NO<sub>x</sub> niet gemeten tijdens CC4-1



Figuur D2.

Bij het eerste experiment is de meting van NO<sub>x</sub> mislukt en zijn er geen waarden beschikbaar.



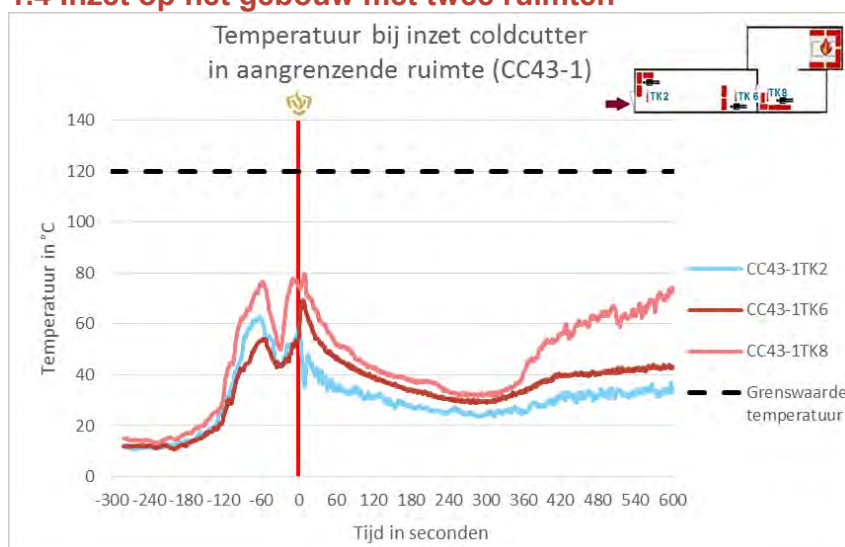
Figuur D3.

### 1.3 Maximale waarde grenswaarden in opstart- en inzetfase bij inzet op een gebouw met twee ruimten

Tabel D2.

		Temperatuur in °C		Straling in kW/m <sup>2</sup>		CO in ppm		O <sub>2</sub> in % <sup>40</sup>		NO <sub>x</sub> in ppm	
		CC 43-1	CC 43-2	CC 43-1	CC 43-2	CC 43-1	CC 43-2	CC 43-1	CC 43-2	CC 43-1	CC 43-2
<b>Slachtoffer 1</b>	Maximale waarde opstartfase	63	67	3,0	3,2	42884	49232	7,9	4,7	28	26
	Maximale waarde inzetfase	58	48	4,5	4,3	-	48262	-	12,2	-	29
	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja (O+) <sup>41</sup>	Ja (O+)	Nee <sup>25</sup>	Ja (O)	Nee <sup>25</sup>	Nee
<b>Slachtoffer 2</b>	Maximale waarde opstartfase	54	73	2,9	15,1	23302	27717	5,0	4,3	23	27
	Maximale waarde inzetfase	69	83	15,2	15,2	42618	52087	5,0	6,1	178	208
	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Ja (I)	Ja (O+)	Ja (O+)	Ja (O+)	Ja (O+)	Ja (O)	Ja (I)	Ja (I)
<b>Slachtoffer 3</b>	Maximale waarde opstartfase	78	85	3,6	9,9	32874	26343	6,8	6,4	20	25
	Maximale waarde inzetfase	80	100	13,7	14,8	74036	79643	8,0	7,4	29	35
	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Ja (I)	Ja (O+)	Ja (O+)	Ja (O+)	Nee	Nee	Nee	Nee

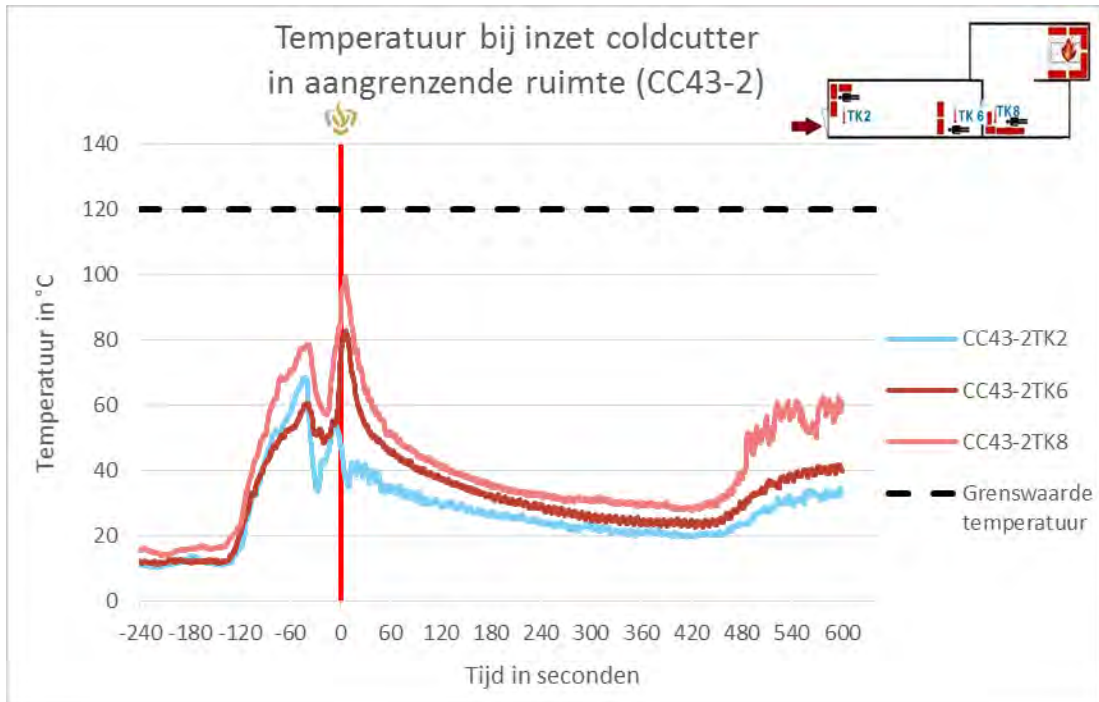
### 1.4 Inzet op het gebouw met twee ruimten



Figuur D4.

<sup>40</sup> Voor de parameter O<sub>2</sub> is het laagste O<sub>2</sub>-gehalte opgenomen

<sup>41</sup> Tijdens de inzetfase niet gemeten in verband met het uitvallen van de meetapparatuur

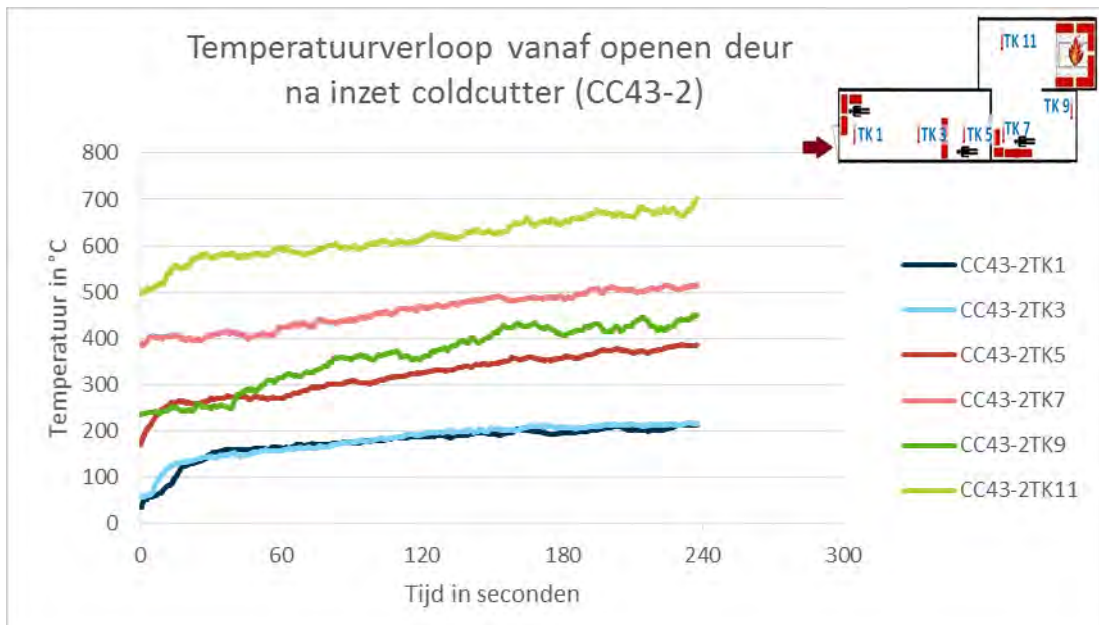


Figuur D5.

### Effect na inzet

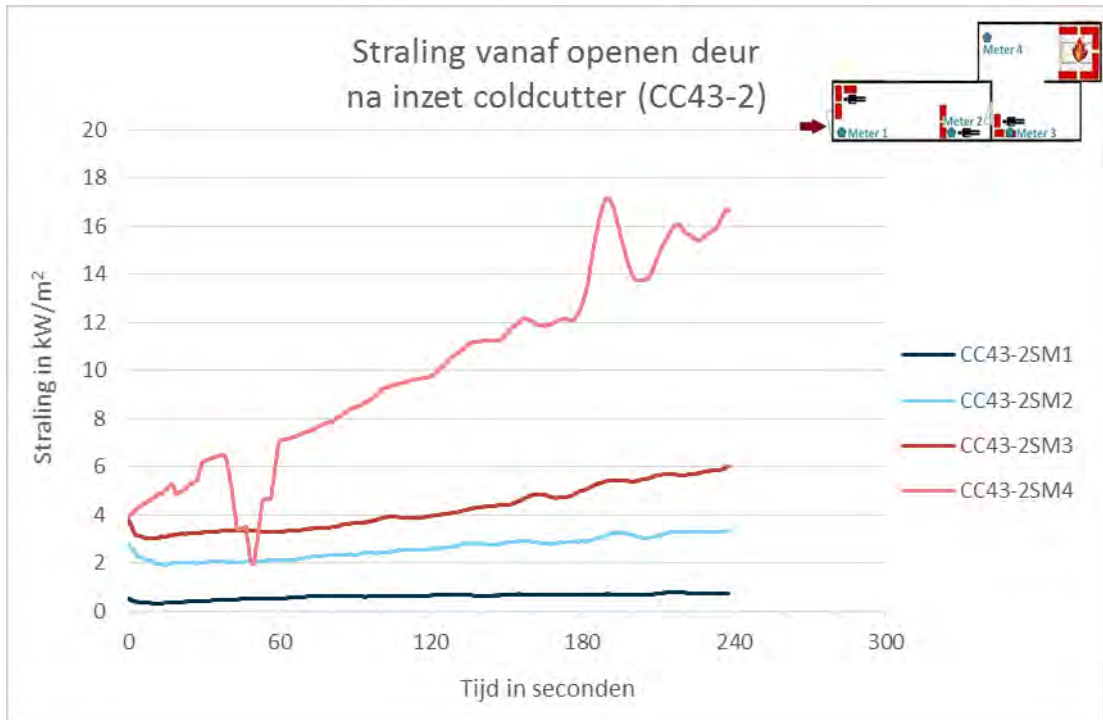
Bij experiment CC43-1 was er sprake van een stroomstoring in de fase na de inzet. Hierdoor zijn er geen metingen in de fase waarin de deur geopend werd beschikbaar voor experiment CC43-1.

De resultaten hieronder zijn daarom alleen gebaseerd op experiment CC43-2.

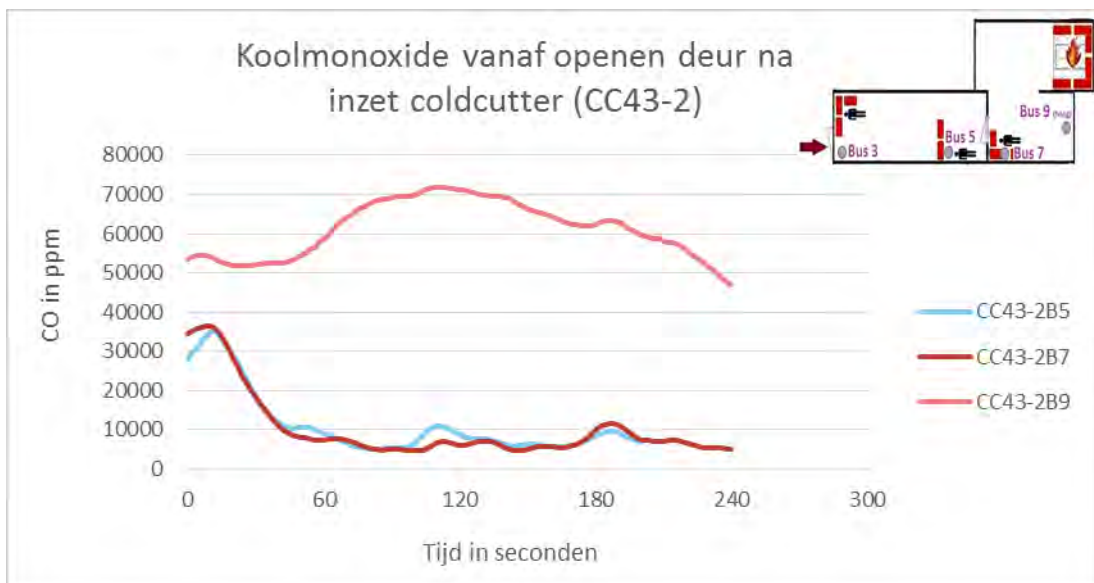


Figuur D6. Temperatuurverloop vanaf openen deur na inzet CC op gebouw met twee ruimten (CC43-2)



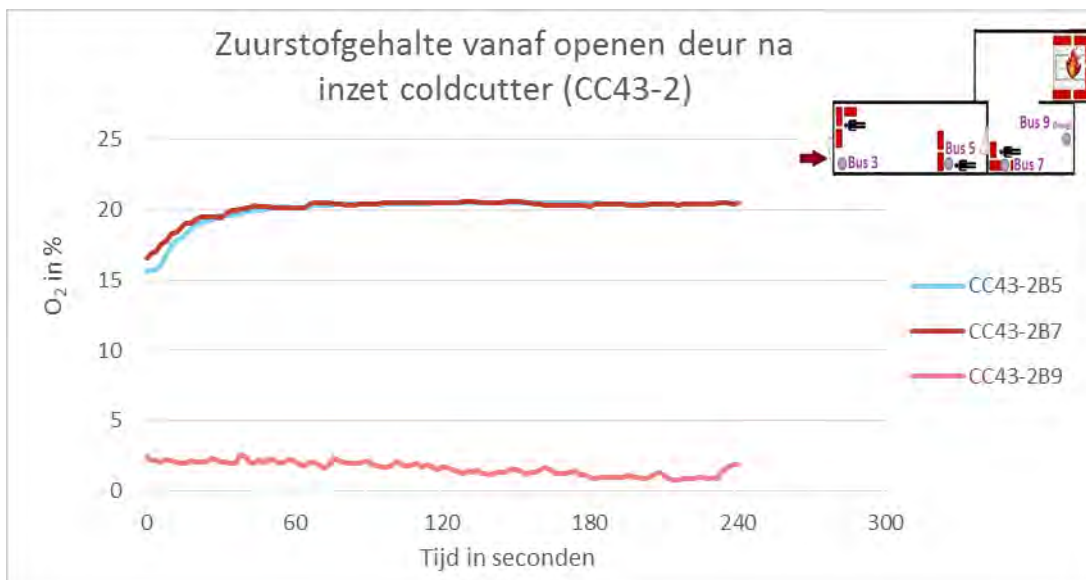


Figuur D7. straling vanaf openen deur na inzet CC op gebouw met twee ruimten (CC43-2)



Figuur D8. Concentratie CO vanaf openen deur na inzet CC op gebouw met twee ruimten (CC43-2)<sup>42</sup>

<sup>42</sup> Bus 3 is in dit experiment uitgevallen.

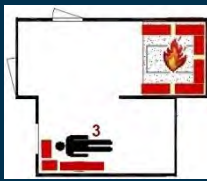


Figuur D9. O<sub>2</sub>-gehalte vanaf openen deur na inzet CC op gebouw met twee ruimten (CC43-2)<sup>42</sup>

## 2. Nevelkogel (NK)

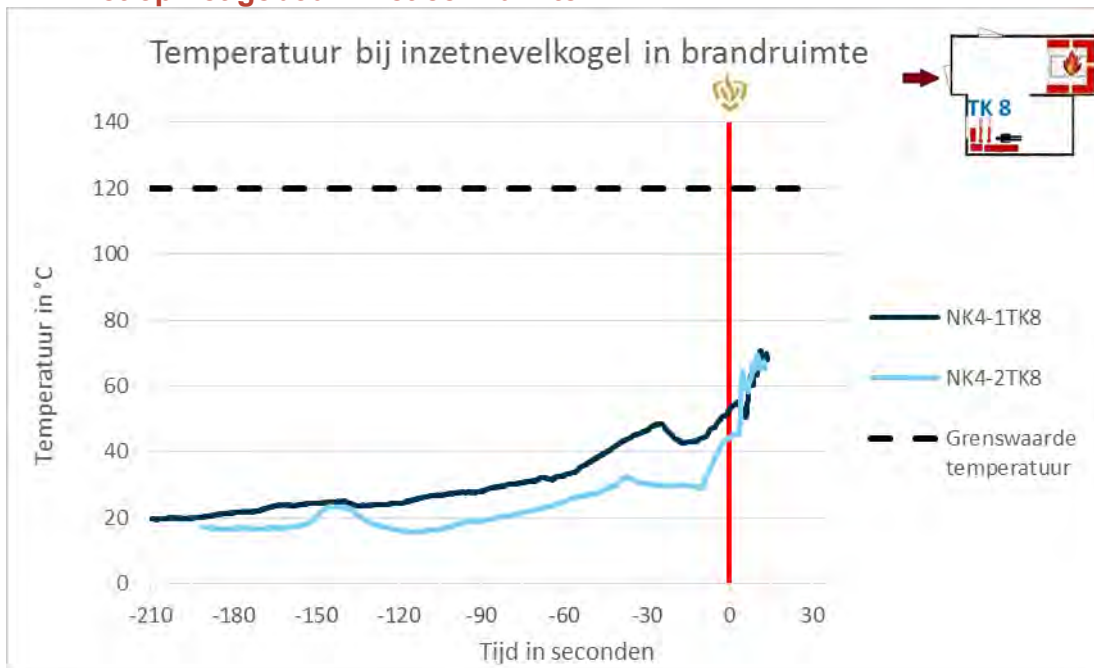
### 2.1 Maximale waarde grenswaarden in opstart- en inzetfase bij inzet op een gebouw met één ruimte

Tabel D3.

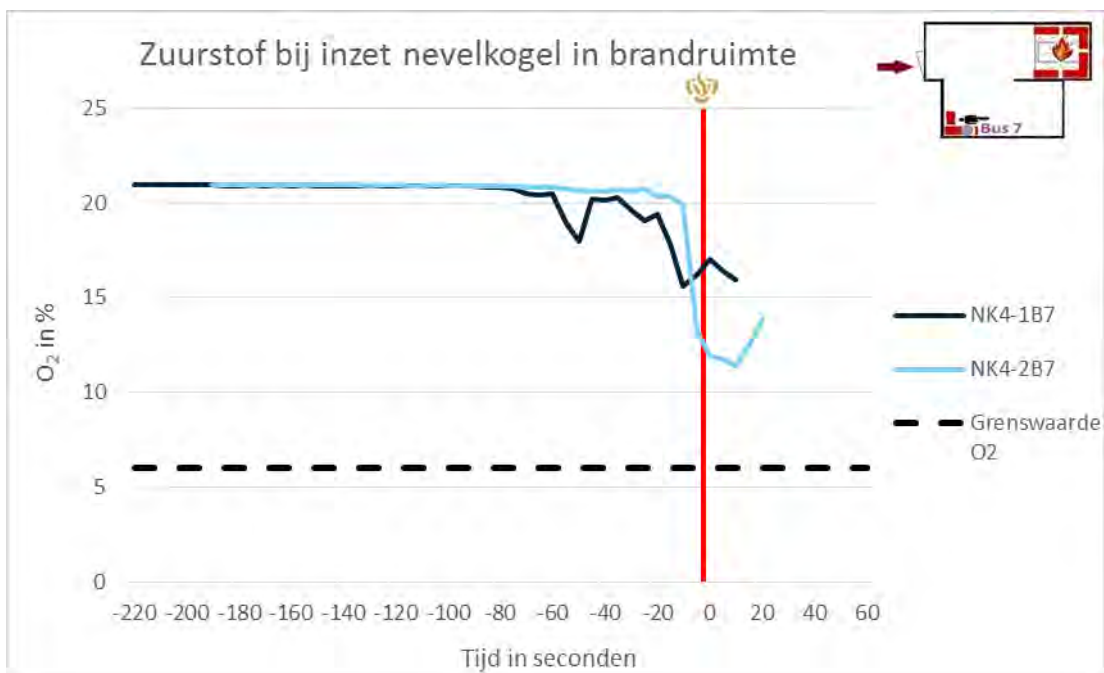
		Temperatuur in °C		Straling in kW/m <sup>2</sup>		CO in ppm		O <sub>2</sub> in % <sup>43</sup>		NO <sub>x</sub> in ppm	
		NK 4-1	NK 4-2	NK 4-1	NK 4-2	NK 4-1	NK 4-2	NK 4-1	NK 4-2	NK 4-1	NK 4-2
<b>Slachtoffer 3</b>	Maximale waarde opstartfase	53	45	2,8	2,8	1580	607	17,9	13,2	5	2
	Maximale waarde inzetfase**	71	69	5,9	9,8	14740	17798	15,6	11,4	13	20
	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Ja (I)	Ja (I)	Ja (I)	Nee	Nee	Nee	Nee

<sup>43</sup> Voor de parameter O<sub>2</sub> is het laagste O<sub>2</sub>-gehalte opgenomen.

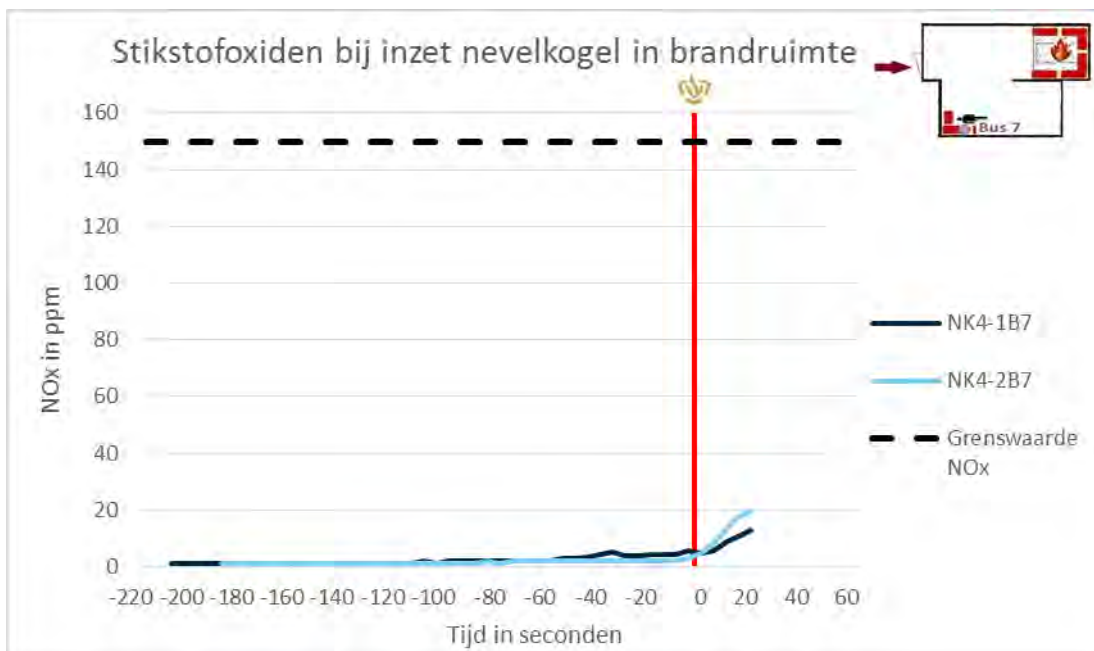
## 2.2 Inzet op het gebouw met één ruimte



Figuur D10.



Figuur D11.



Figuur D12.

### 2.3 Maximale waarde grenswaarden in opstart- en inzetfase bij inzet op een gebouw met twee ruimten

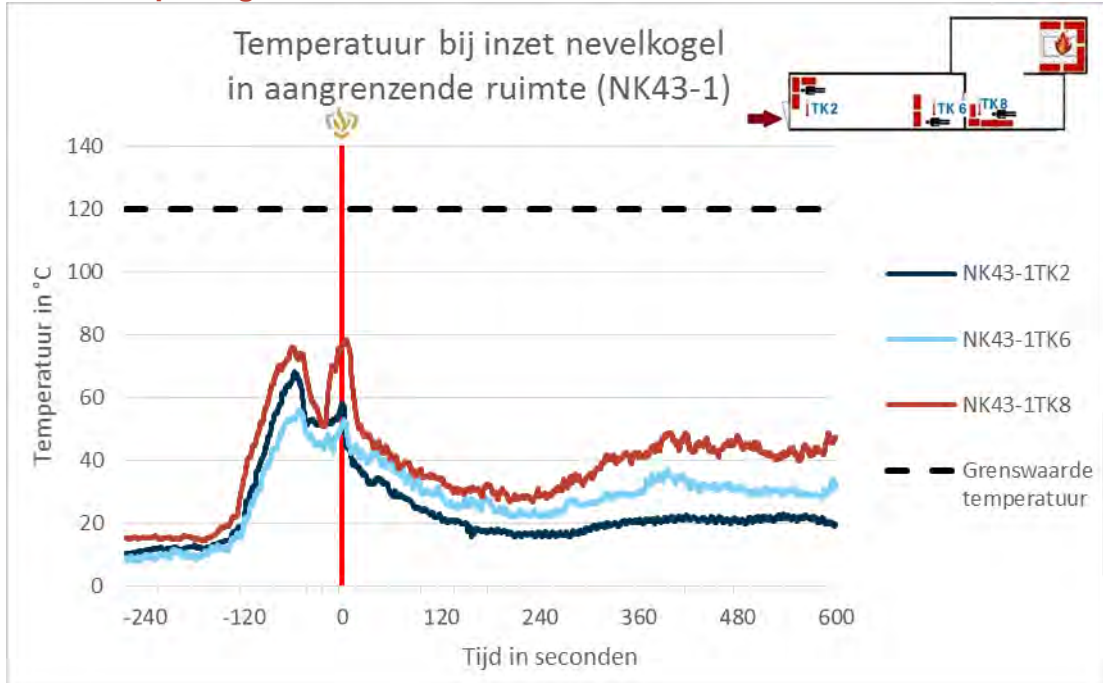
Tabel D4.

		Temperatuur in °C		Straling in kW/m <sup>2</sup>		CO in ppm		O <sub>2</sub> in % <sup>44</sup>		NO <sub>x</sub> in ppm	
		NK 43-1	NK 43-2	NK 43-1	NK 43-2	NK 43-1	NK 43-2	NK 43-1	NK 43-2	NK 43-1	NK 43-2
Slachtoffer 1	Maximale waarde opstartfase	68	65	3,7	3,8	25367	59724	5,7	3,7	18	48
	Maximale waarde inzetfase	58	57	10,1	10,5	84807	95799	5,4	5,8	23	0
	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Ja (I)	Ja (I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Nee	Nee
Slachtoffer 2	Maximale waarde opstartfase	56	61	2,9	4,8	21387	65658	8,6	6,0	15	38
	Maximale waarde inzetfase	53	59	3,2	4,7	89860	247160	5,2	3,8	97	0
	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (I)	Ja (O+I)	Nee	Nee
Slachtoffer 3	Maximale waarde opstartfase	76	90	2,9	4,8	15688	37042	6,8	7,1	12	46

<sup>44</sup> Voor de parameter O<sub>2</sub> is het laagste O<sub>2</sub>-gehalte opgenomen

Maximale waarde inzetfase	78	87	2,7	4,5	56005	139454	7,1	4,3	32	59
Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Nee	Ja (I)	Nee	Nee

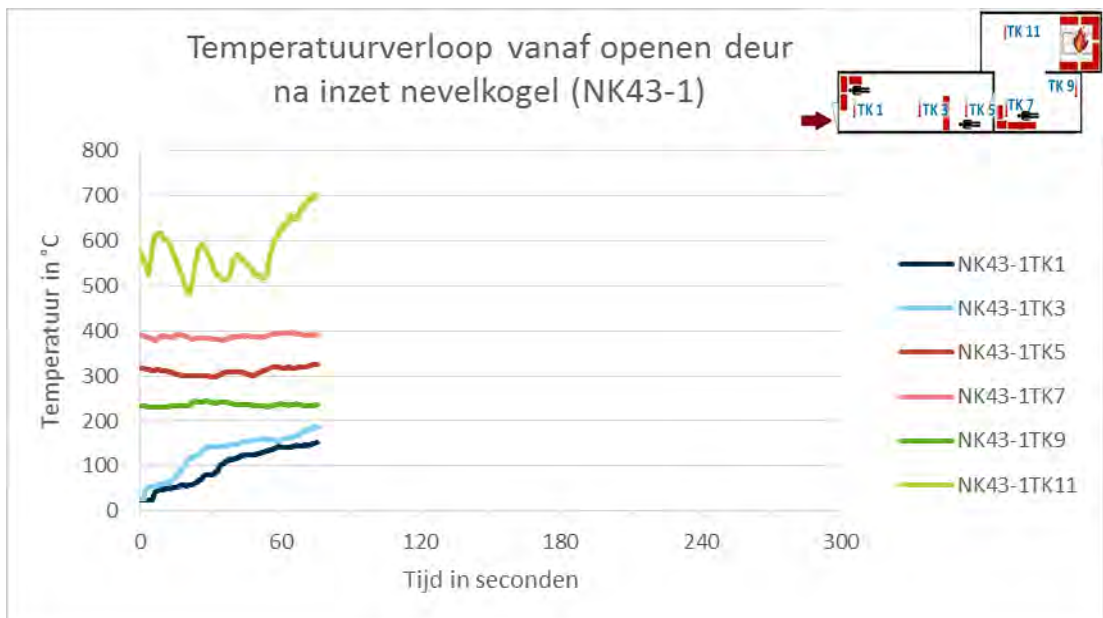
## 2.4 Inzet op het gebouw met twee ruimten



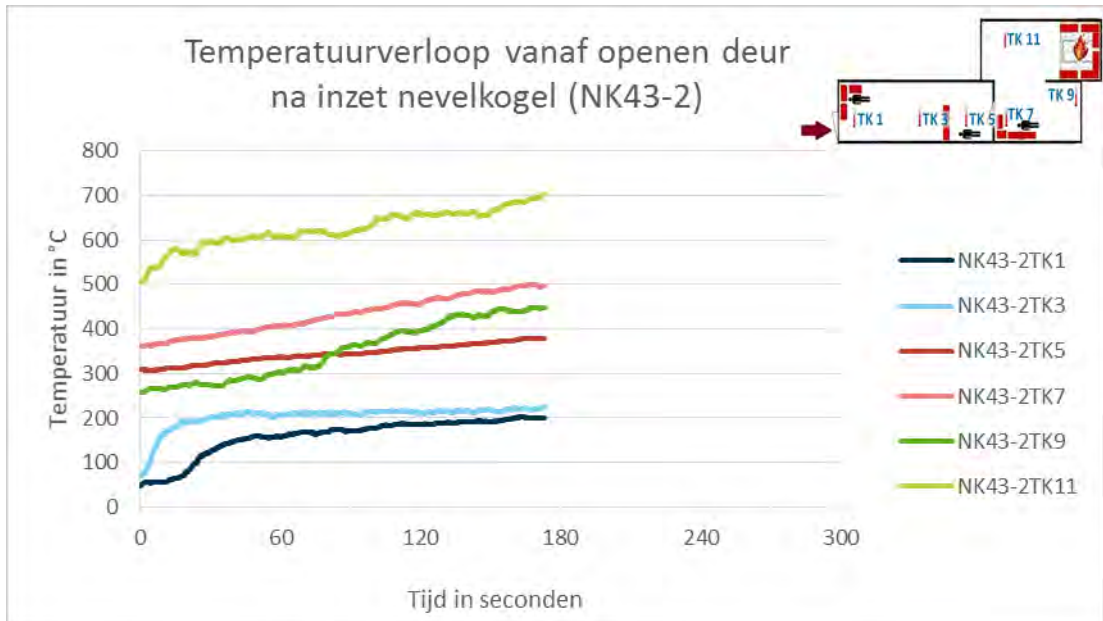
Figuur D13.

### Effect na inzet

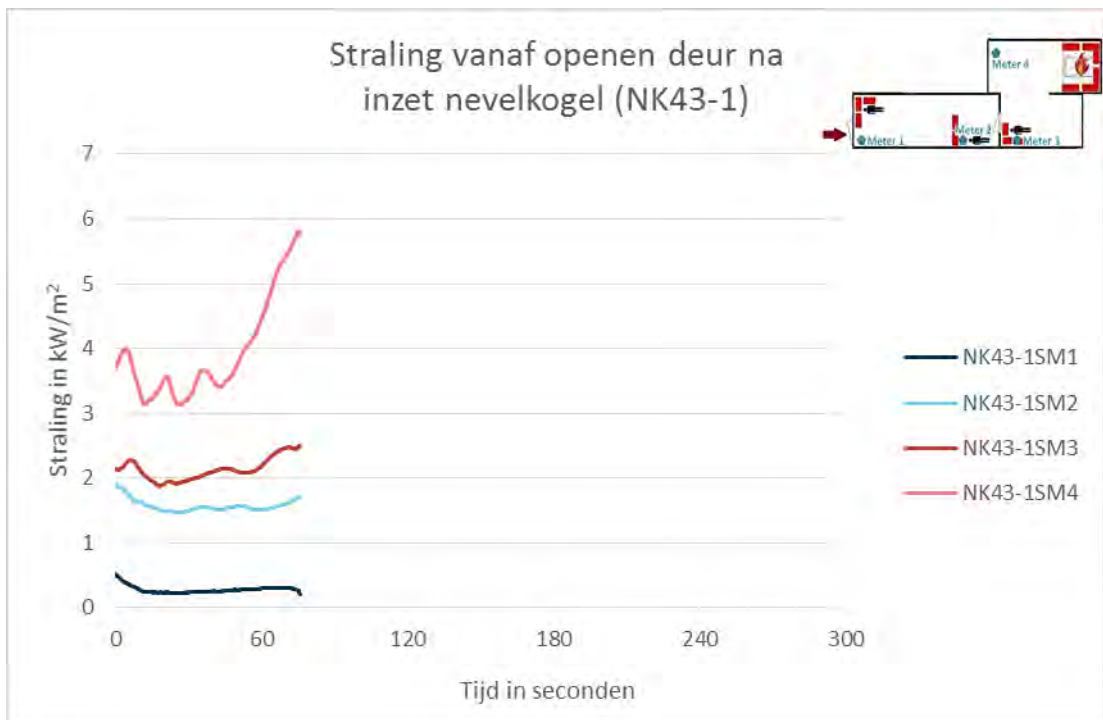
Na de inzet is de deur geopend. In onderstaande figuren is het effect te zien.



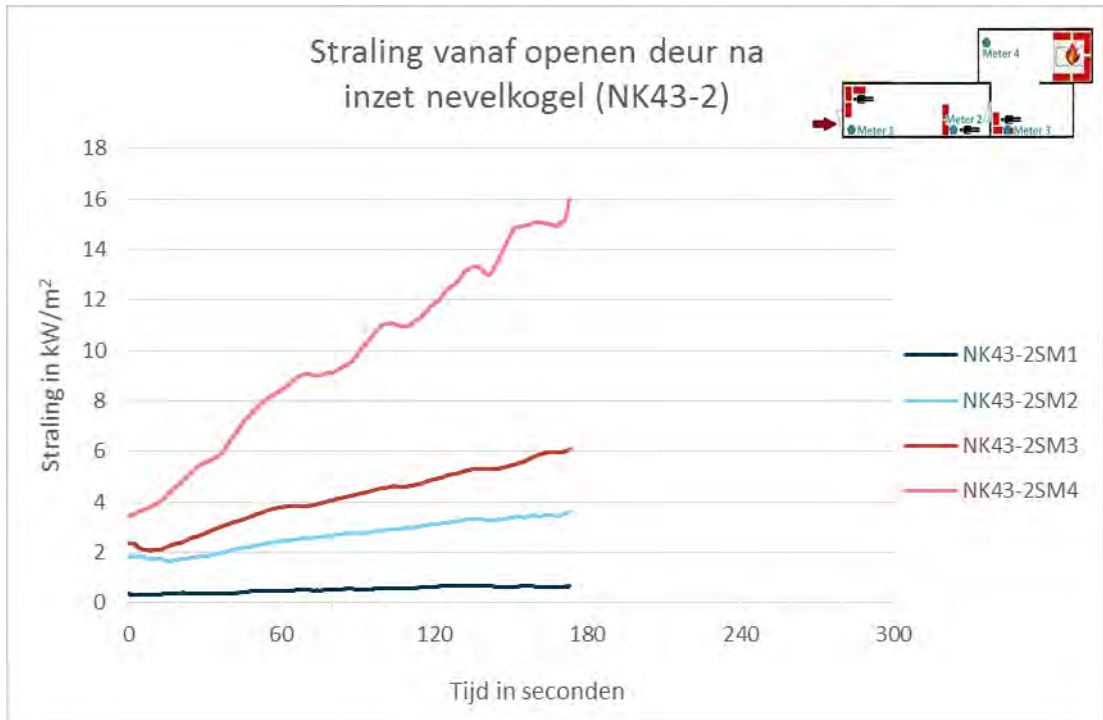
Figuur D14. Temperatuurverloop vanaf openen deur na inzet NK op gebouw met twee ruimten (NK43-1)



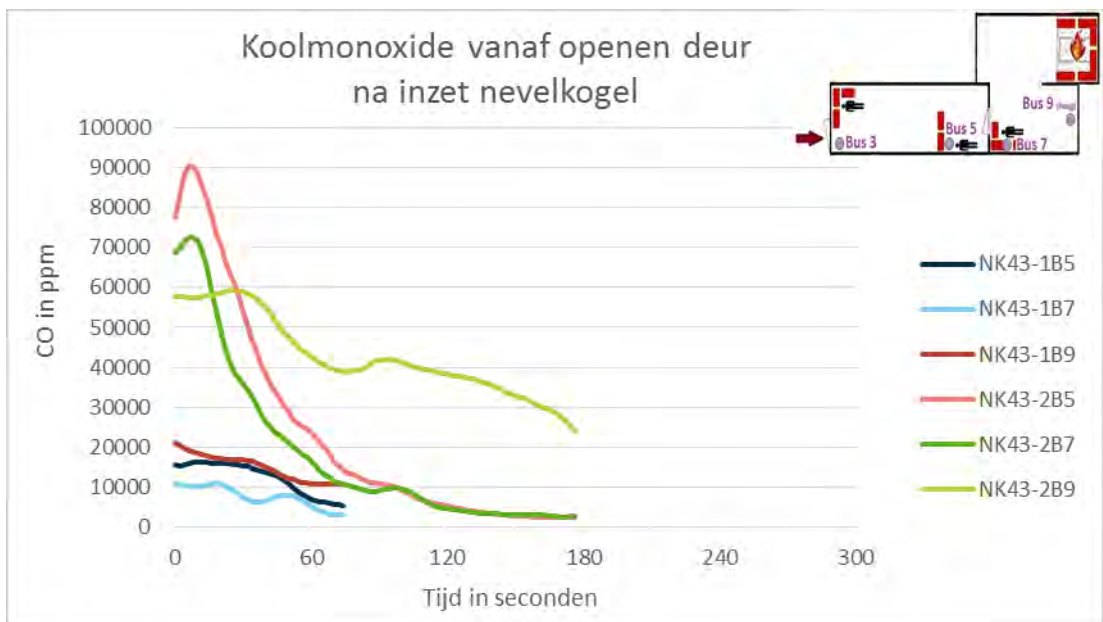
**Figuur D15.** Temperatuurverloop vanaf openen deur na inzet NK op gebouw met twee ruimten (NK43-2)



**Figuur D16.** Straling vanaf openen deur na inzet NK op gebouw met twee ruimten (NK43-1)

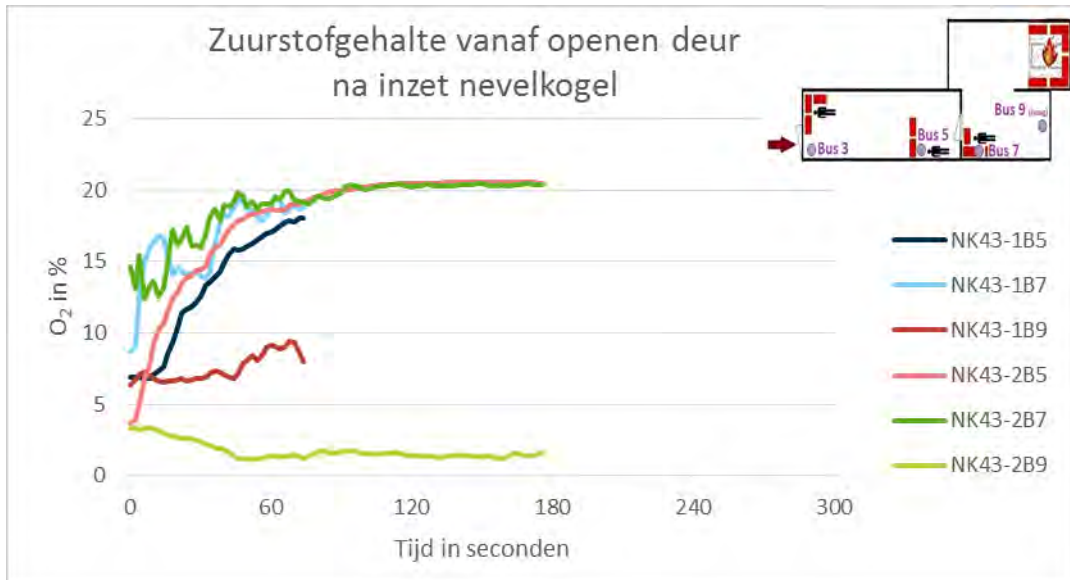


**Figuur D17. Straling vanaf openen deur na inzet NK op gebouw met twee ruimten (NK43-2)**

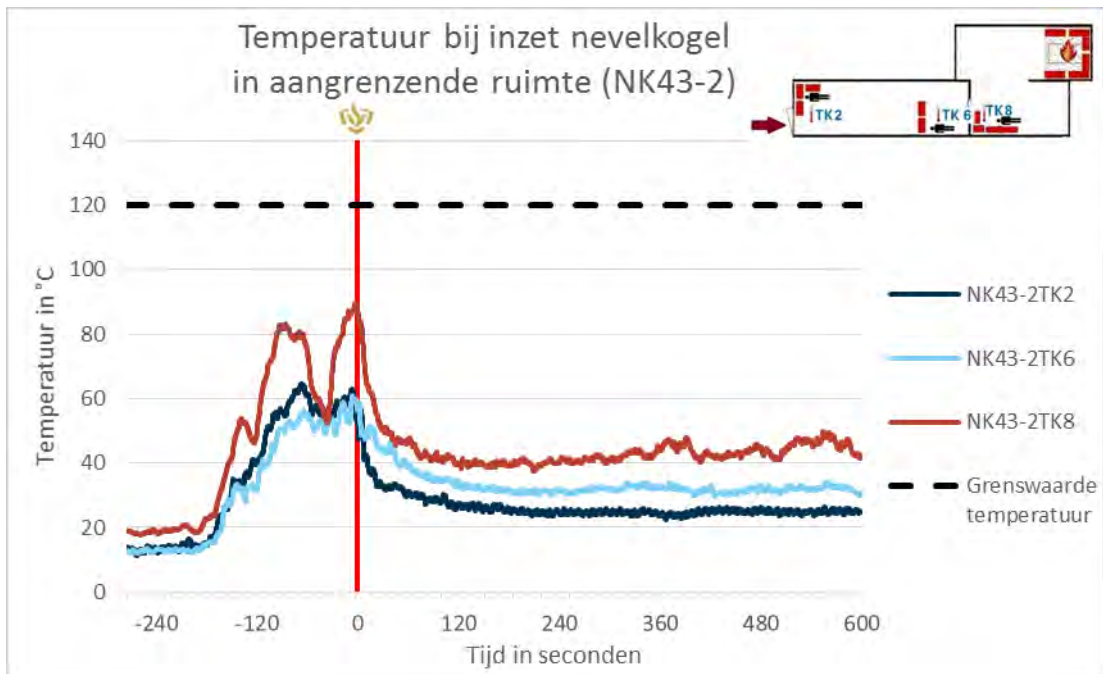


**Figuur D18. Concentratie CO vanaf openen deur na inzet NK op gebouw met twee ruimten<sup>45</sup>**

<sup>45</sup> Bus 3 is tijdens beide experimenten uitgevallen

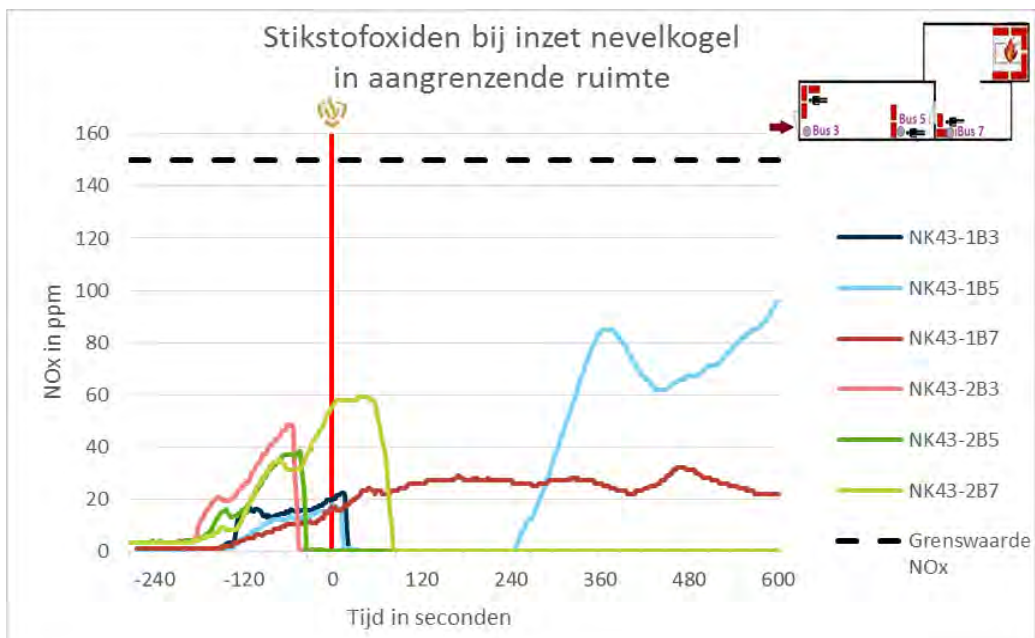


Figuur D19. O<sub>2</sub>-gehalte vanaf openen deur na inzet NK op gebouw met twee ruimten<sup>45</sup>



Figuur D20.





Figuur D21.

### 3. Fognail (FN)

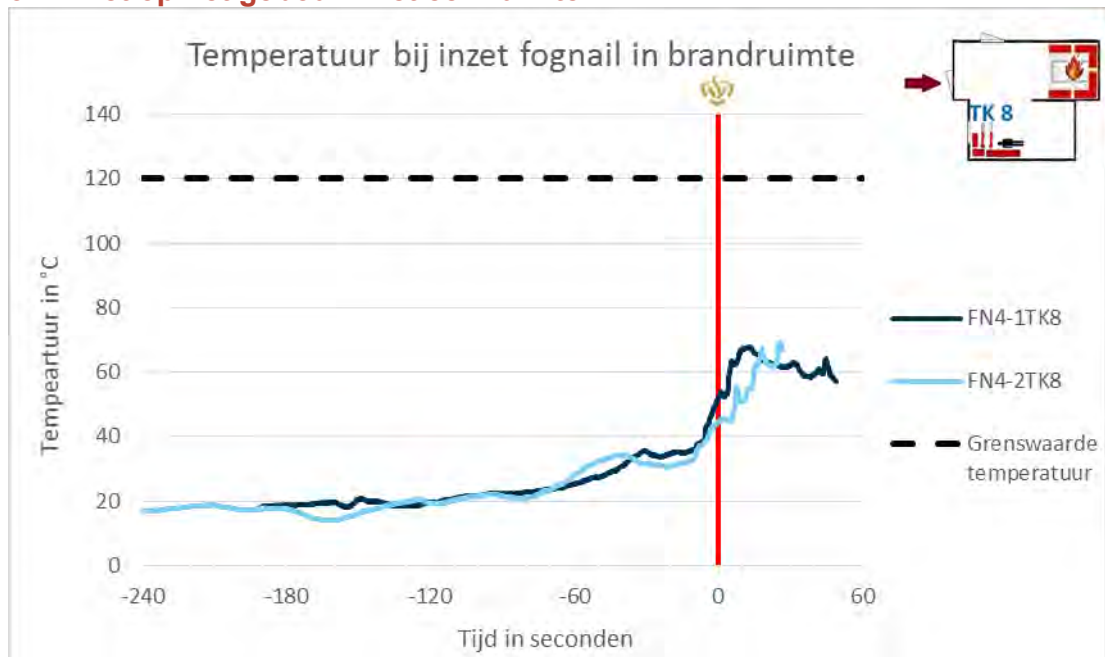
#### 3.1 Maximale waarde grenswaarden in opstart- en inzetfase bij inzet op een gebouw met één ruimte

Tabel D5.

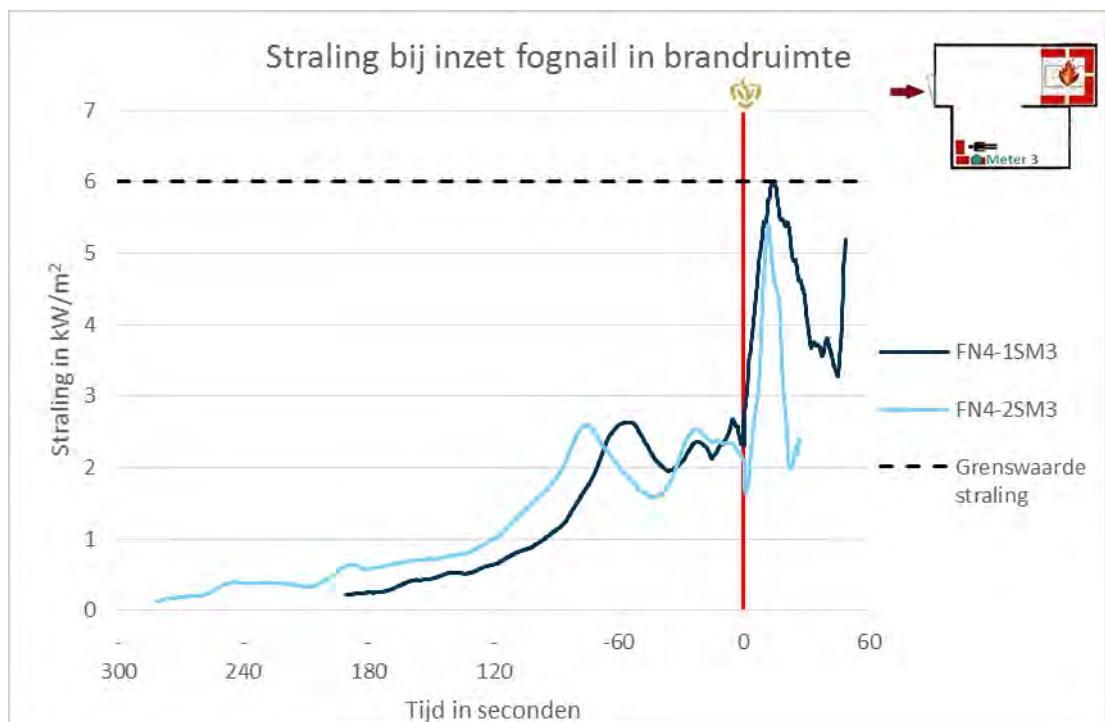
		Temperatuur in °C		Straling in kW/m <sup>2</sup>		CO in ppm		O <sub>2</sub> in % <sup>46</sup>		NO <sub>x</sub> in ppm	
		FN 4-1	FN 4-2	FN 4-1	FN 4-2	FN 4-1	FN 4-2	FN 4-1	FN 4-2	FN 4-1	FN 4-2
<b>Slachtoffer 3</b>	Maximale waarde opstartfase	52	45	2,7	2,6	2630	2945	16,0	18,3	8	6
	Maximale waarde inzetfase**	68	69	6,0	5,4	22694	12371	13,4	13,0	27	18
	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja (I)	Ja (I)	Nee	Nee	Nee	Nee

<sup>46</sup> Voor de parameter O<sub>2</sub> is het laagste O<sub>2</sub> gehalte opgenomen.

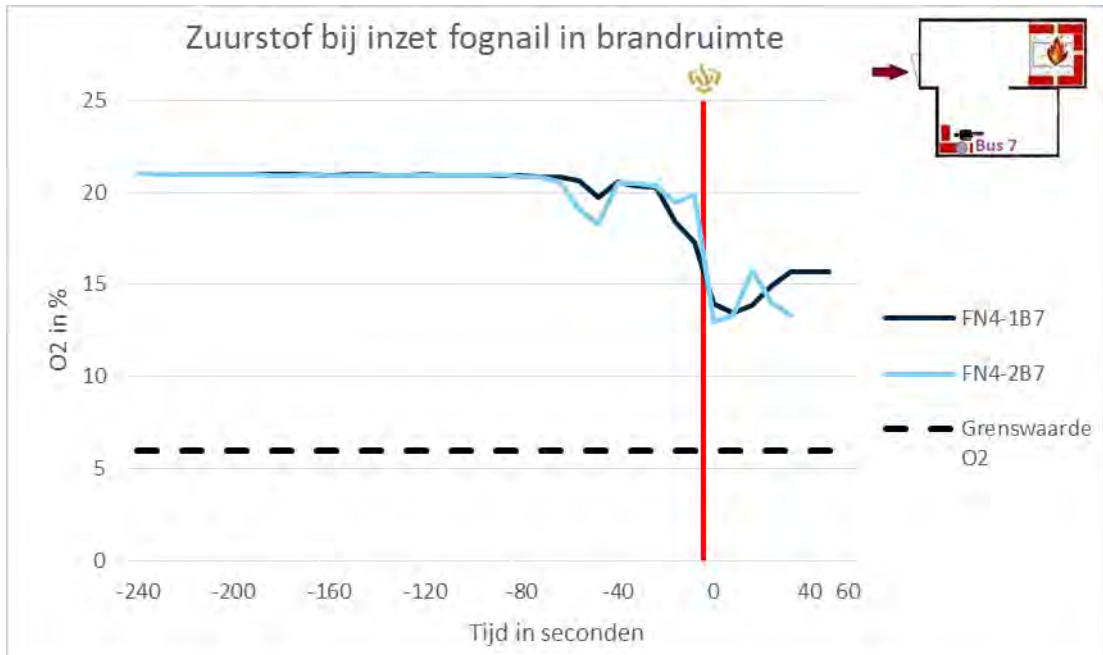
### 3.2 Inzet op het gebouw met één ruimte



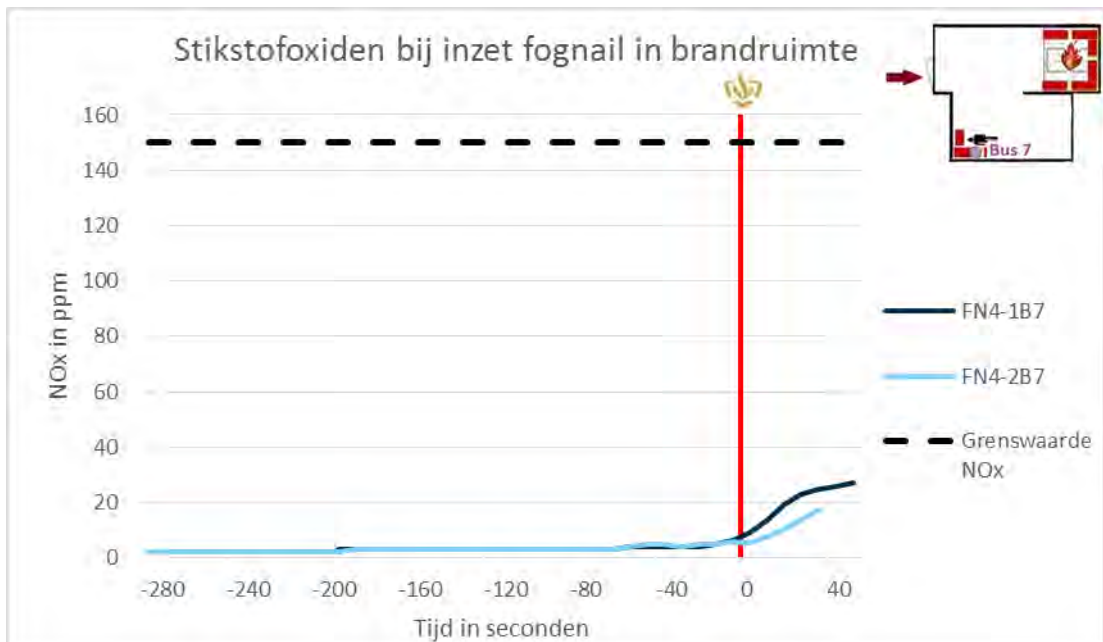
Figuur D22.



Figuur D23.



Figuur D24.



Figuur D25.

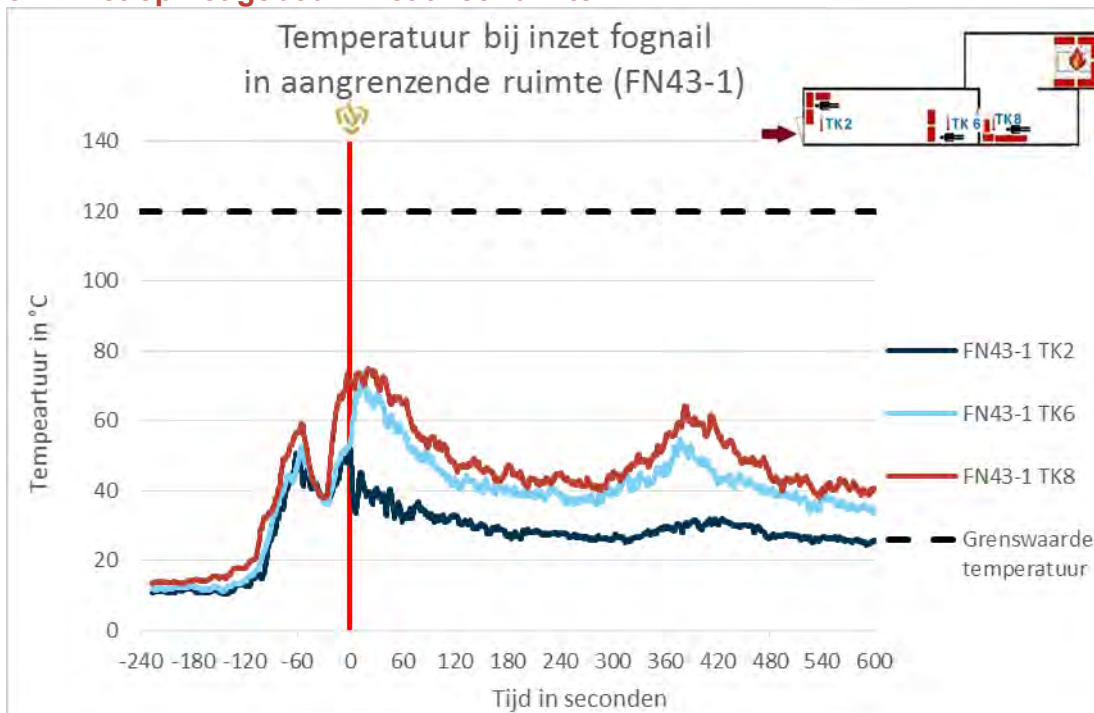
### 3.3 Maximale waarde grenswaarden in opstart- en inzetfase bij inzet op een gebouw met twee ruimten

Tabel D6.

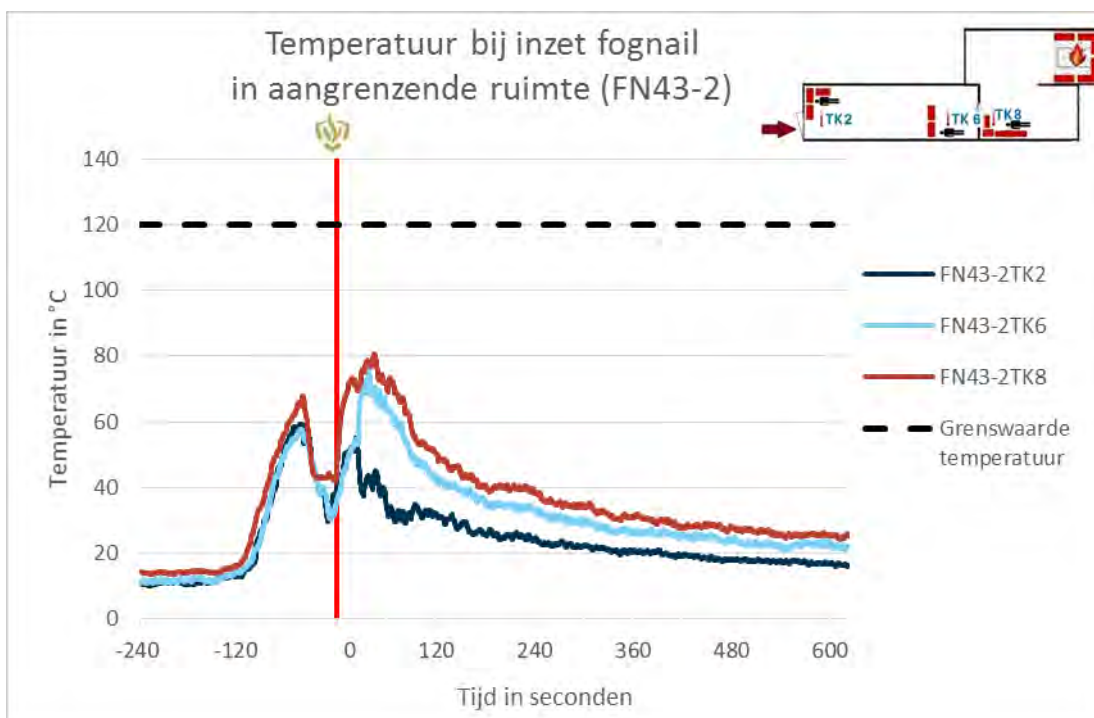
		Temperatuur in °C		Straling in kW/m <sup>2</sup>		CO in ppm		O <sub>2</sub> in % <sup>47</sup>		NO <sub>x</sub> in ppm	
		FN 43-1	FN 43-2	FN 43-1	FN 43-2	FN 43-1	FN 43-2	FN 43-1	FN 43-2	FN 43-1	FN 43-2
Slachtoffer 1	Maximale waarde opstartfase	52	59	3,7	3,8	21424	25853	5,8	4,0	22	27
	Maximale waarde inzetfase	52	56	4,3	4,1	44304	42465	7,6	7,0	85	99
	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O)	Ja (O)	Nee	Nee
Slachtoffer 2	Maximale waarde opstartfase	53	58	2,7	2,8	24444	49637	8,3	7,7	18	21
	Maximale waarde inzetfase	74	77	6,2	6,0	45317	53183	8,3	5,7	37	166
	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Ja (I)	Nee	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Nee	Ja (I)	Nee	Ja (I)
Slachtoffer 3	Maximale waarde opstartfase	74	73	3,6	3,8	31263	25798	7,6	6,9	16	19
	Maximale waarde inzetfase	75	81	7,0	6,9	100030	51979	7,0	6,6	37	33
	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Ja (I)	Ja (I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Nee	Nee	Nee	Nee

<sup>47</sup> Voor de parameter O<sub>2</sub> is het laagste O<sub>2</sub>-gehalte opgenomen.

### 3.4 Inzet op het gebouw met twee ruimten



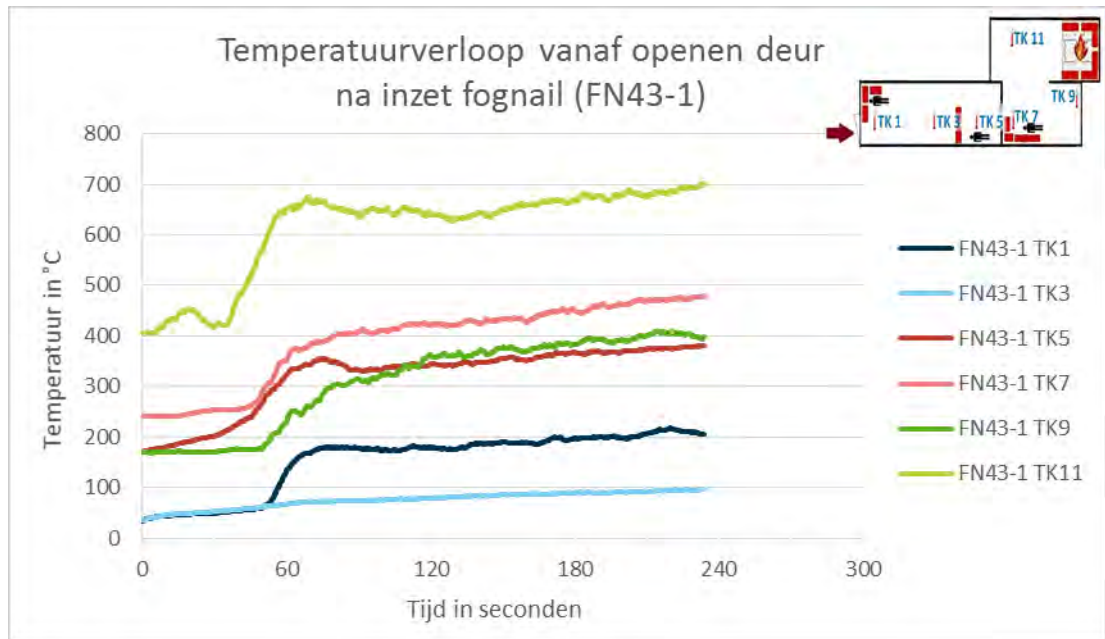
Figuur D26.



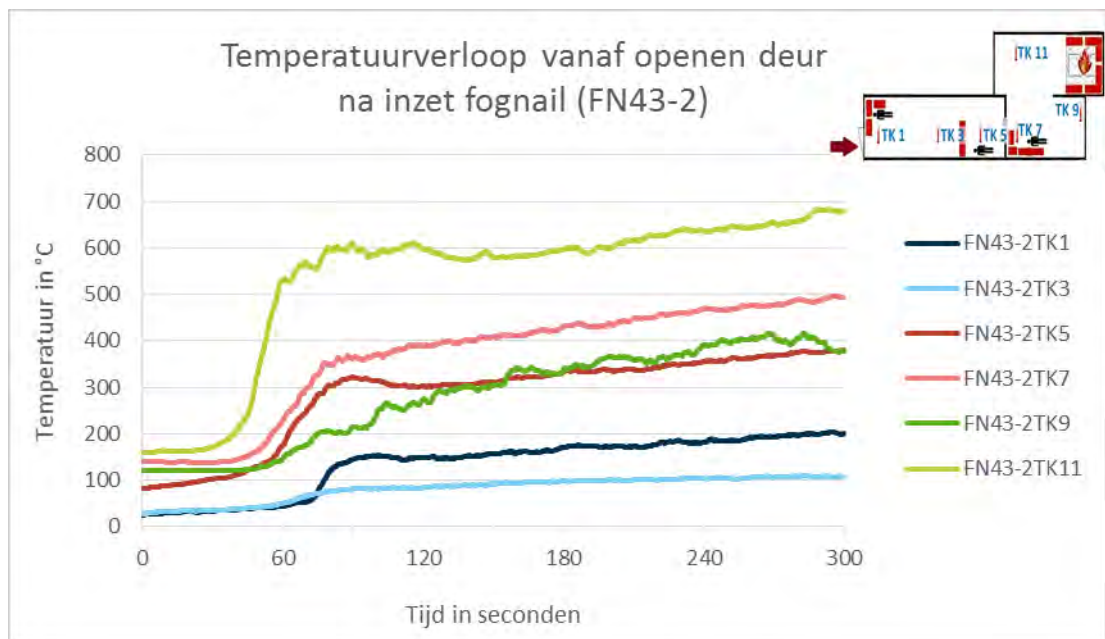
Figuur D27.

## Effect na inzet

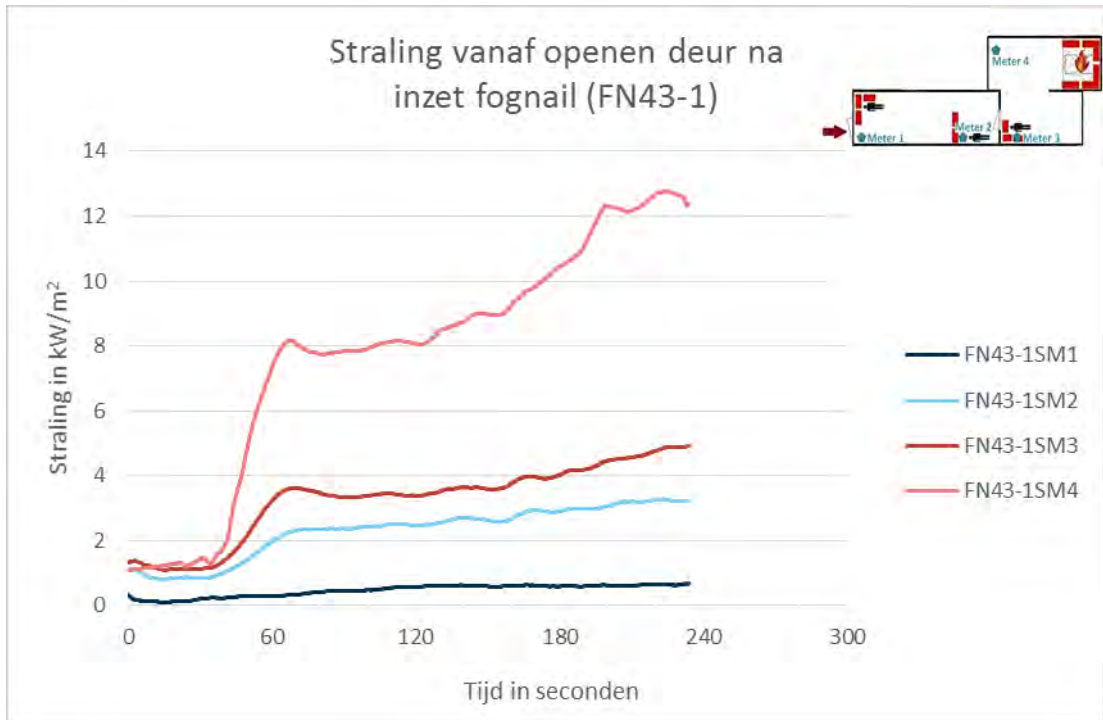
Na de inzet is de deur geopend. In onderstaande figuren zijn de resultaten weergegeven.



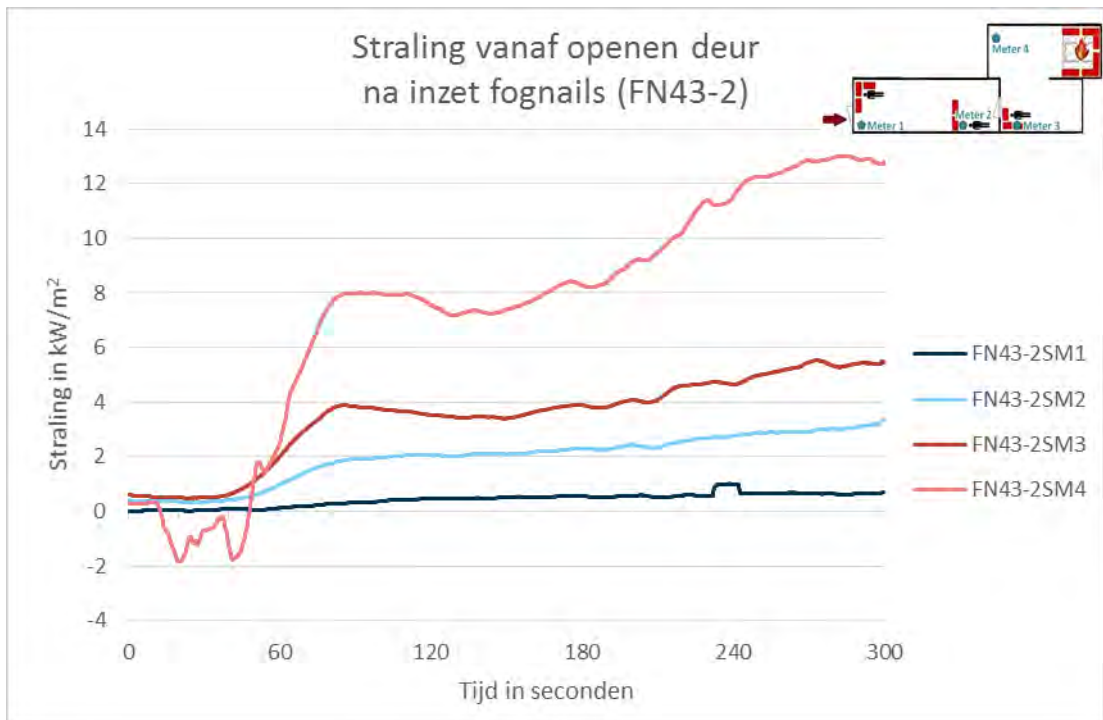
Figuur D28. Temperatuurverloop vanaf openen deur na inzet FN op gebouw met twee ruimten (FN43-1)



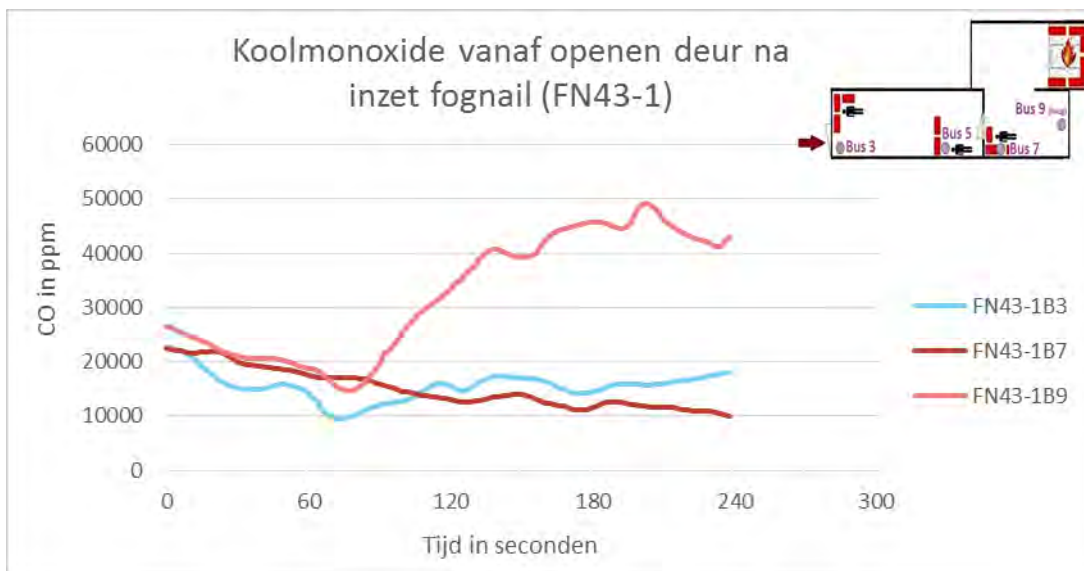
Figuur D29. Temperatuurverloop vanaf openen deur na inzet FN op gebouw met twee ruimten (FN43-2)



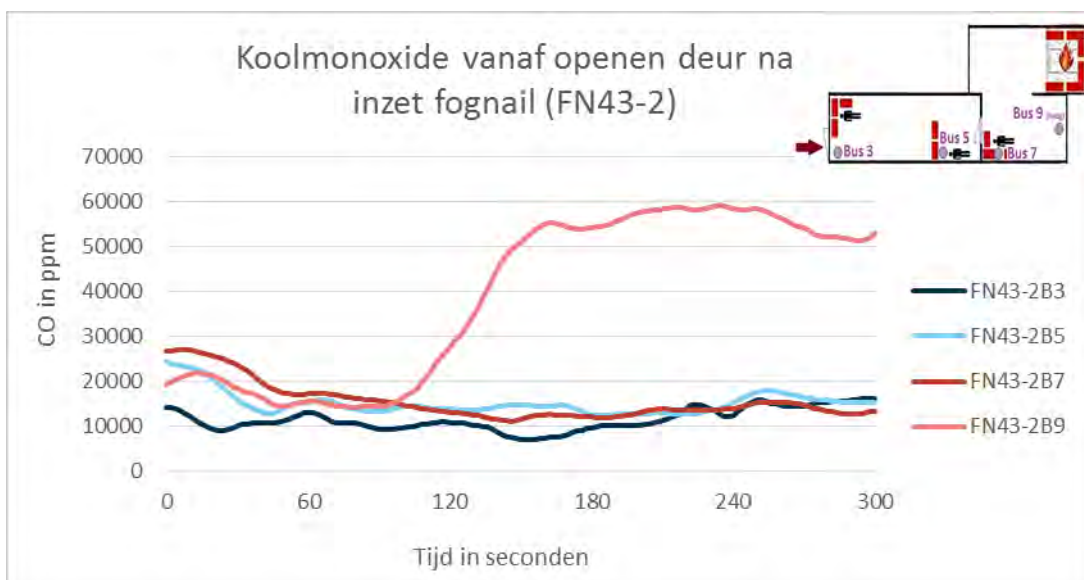
**Figuur D30. Straling vanaf openen deur na inzet FN op gebouw met twee ruimten (FN43-1)**



**Figuur D31. Straling vanaf openen deur na inzet FN op gebouw met twee ruimten (FN43-2)**



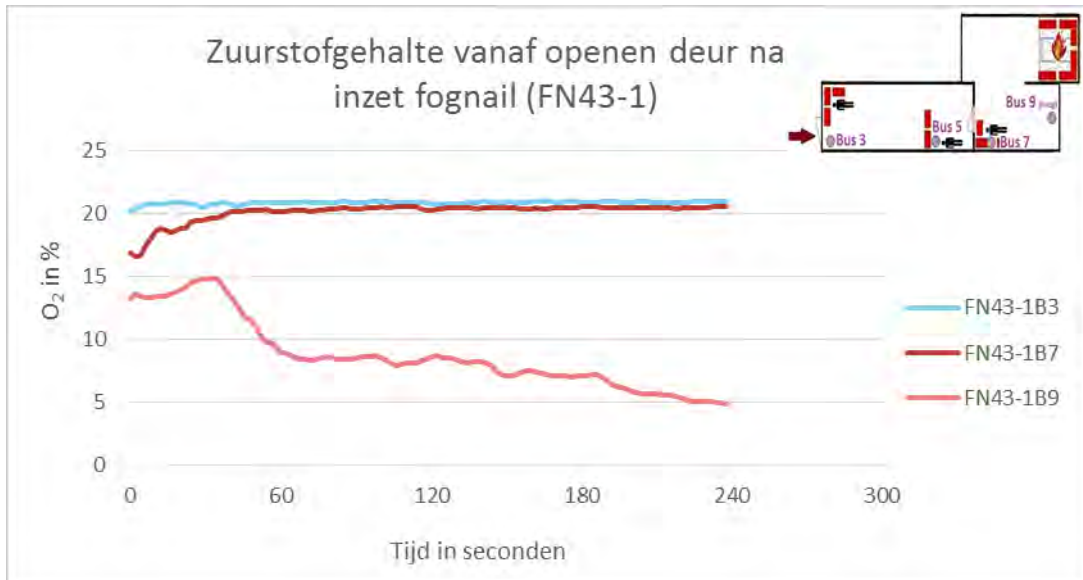
Figuur D32. Concentratie CO vanaf openen deur na inzet FN op gebouw met twee ruimten (FN43-1)<sup>48</sup>



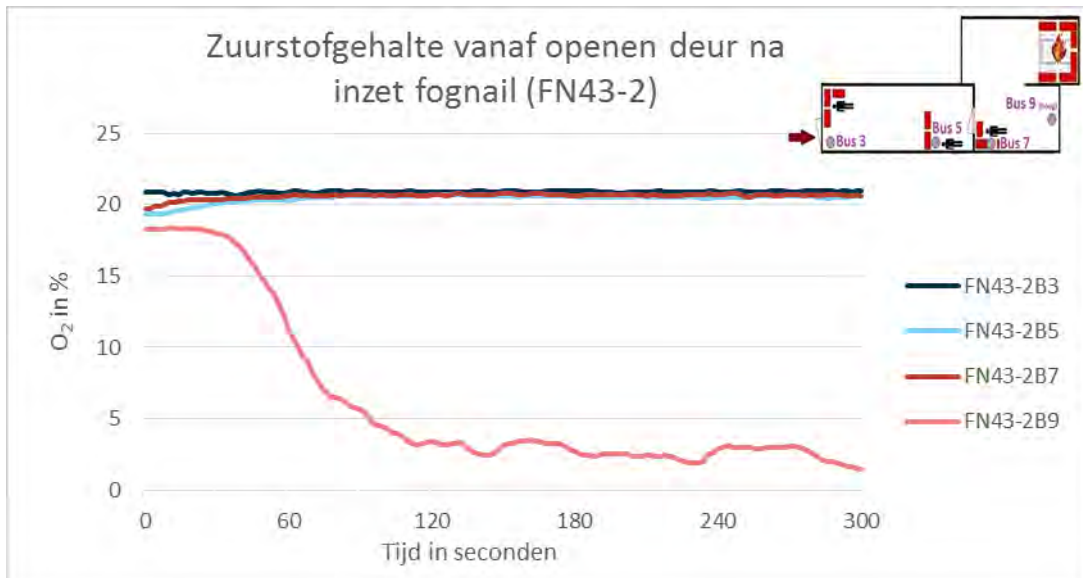
Figuur D33. Concentratie CO vanaf openen deur na inzet FN op gebouw met twee ruimten (FN43-2)

<sup>48</sup> Bus 5 is bij dit experiment uitgevallen





Figuur D34. O<sub>2</sub>-gehalte vanaf openen deur na inzet FN op gebouw met twee ruimten (FN43-1)<sup>48</sup>

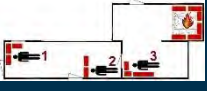


Figuur D35. O<sub>2</sub>-gehalte vanaf openen deur na inzet FN op gebouw met twee ruimten (FN43-2)

## 4. Repressieve ventilatie (RV)

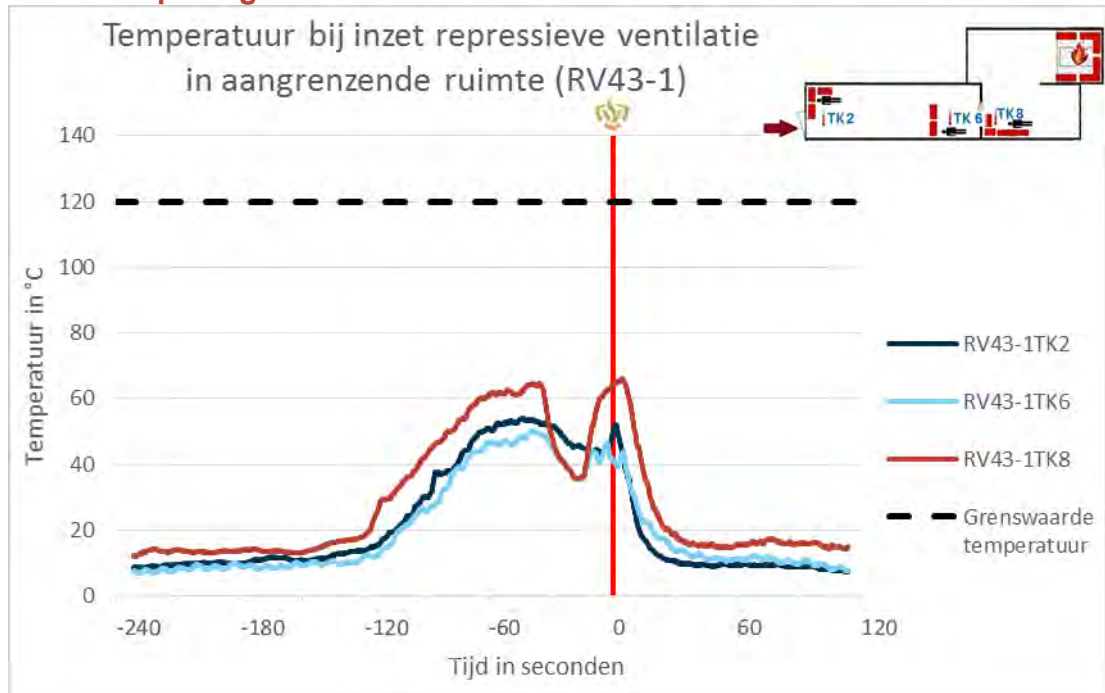
### 4.1 Maximale waarde grenswaarden in opstart- en inzetfase bij inzet op een gebouw met twee ruimten

Tabel D7.

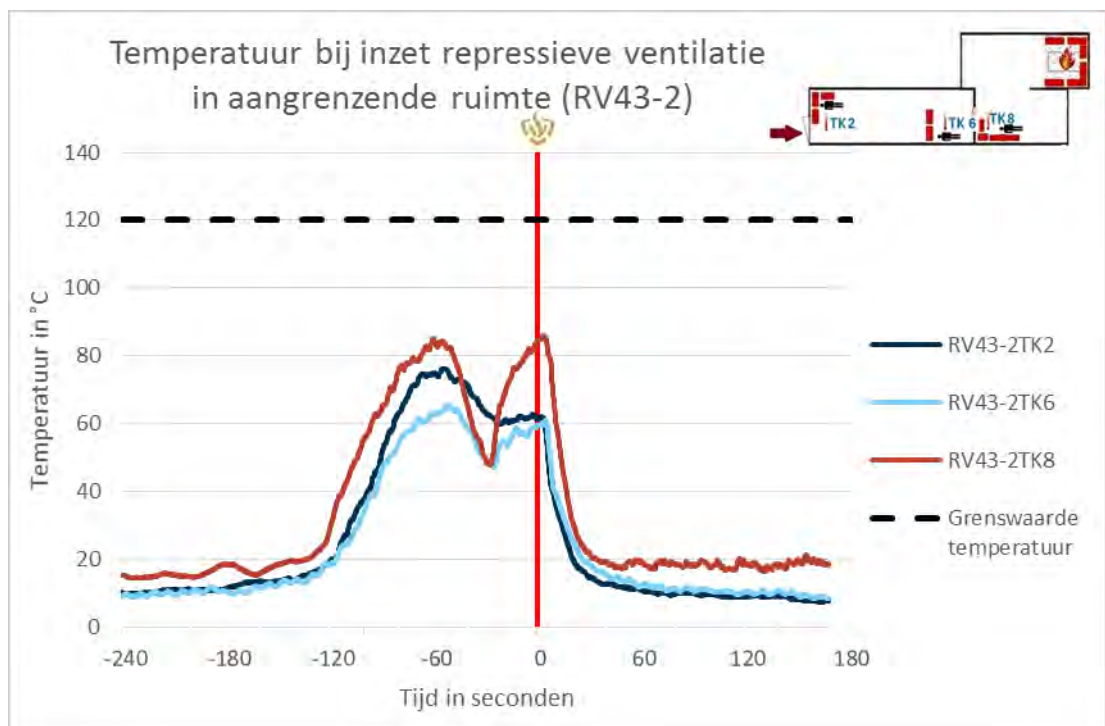
		Temperatuur in °C		Straling in kW/m <sup>2</sup>		CO in ppm		O <sub>2</sub> in % <sup>49</sup>		NO <sub>x</sub> in ppm	
		RV 43-1	RV 43-2	RV 43-1	RV 43-2	RV 43-1	RV 43-2	RV 43-1	RV 43-2	RV 43-1	RV 43-2
<b>Slachtoffer 1</b>	Maximale waarde opstartfase	54	76	3,4	3,7	32779	33466	5,5	5,3	24	33
	Maximale waarde inzetfase	52	62	3,3	3,5	39145	37228	19,7	14,5	22	34
	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Nee	<b>Ja (O+I)</b>	<b>Ja (O+I)</b>	Ja (O)	Ja (O)	Nee	Nee
<b>Slachtoffer 2</b>	Maximale waarde opstartfase	50	65	2,5	3,3	14375	19789	10,6	7,1	18	26
	Maximale waarde inzetfase	44	61	3,1	3,7	30686	42295	14,6	14,7	18	31
	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Nee	<b>Ja (O+I)</b>	<b>Ja (O+I)</b>	Nee	Nee	Nee	Nee
<b>Slachtoffer 3</b>	Maximale waarde opstartfase	65	85	3,5	3,5	16045	17430	8,8	5,9	18	25
	Maximale waarde inzetfase	66	86	4,5	8,8	34040	57273	16,5	15,7	18	28
	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	<b>Ja (I)</b>	<b>Ja (O+I)</b>	<b>Ja (O+I)</b>	Nee	Ja (O)	Nee	Nee

<sup>49</sup> Voor de parameter O<sub>2</sub> is het laagste O<sub>2</sub>-gehalte opgenomen.

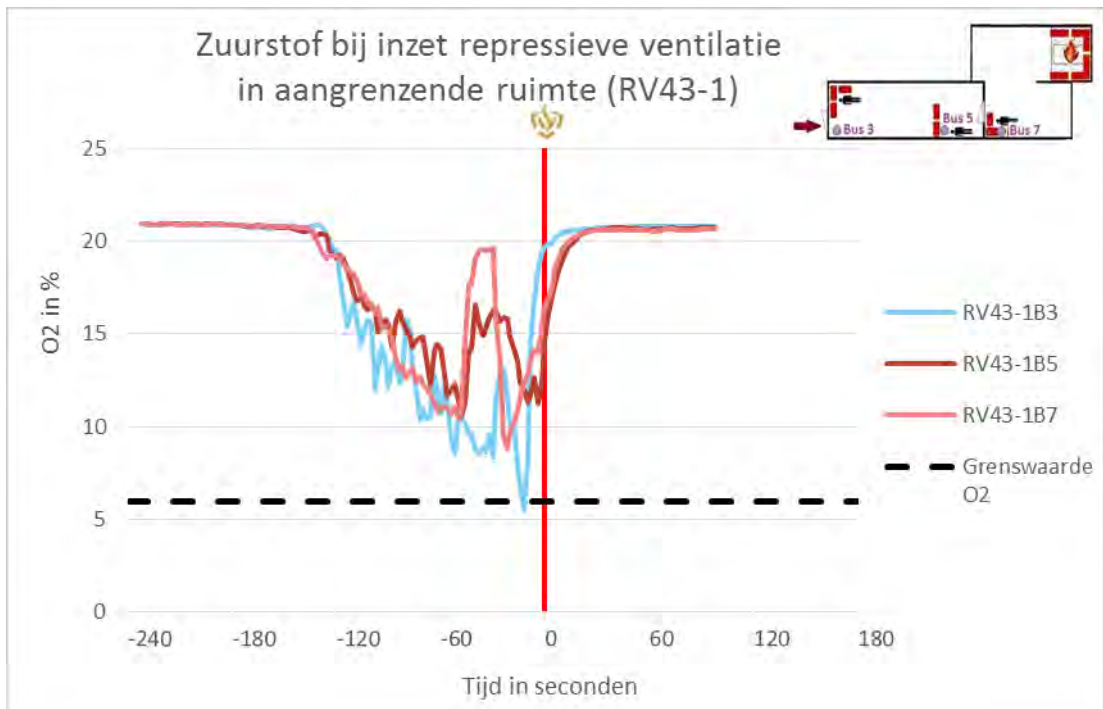
## 4.2 Inzet op het gebouw met twee ruimten



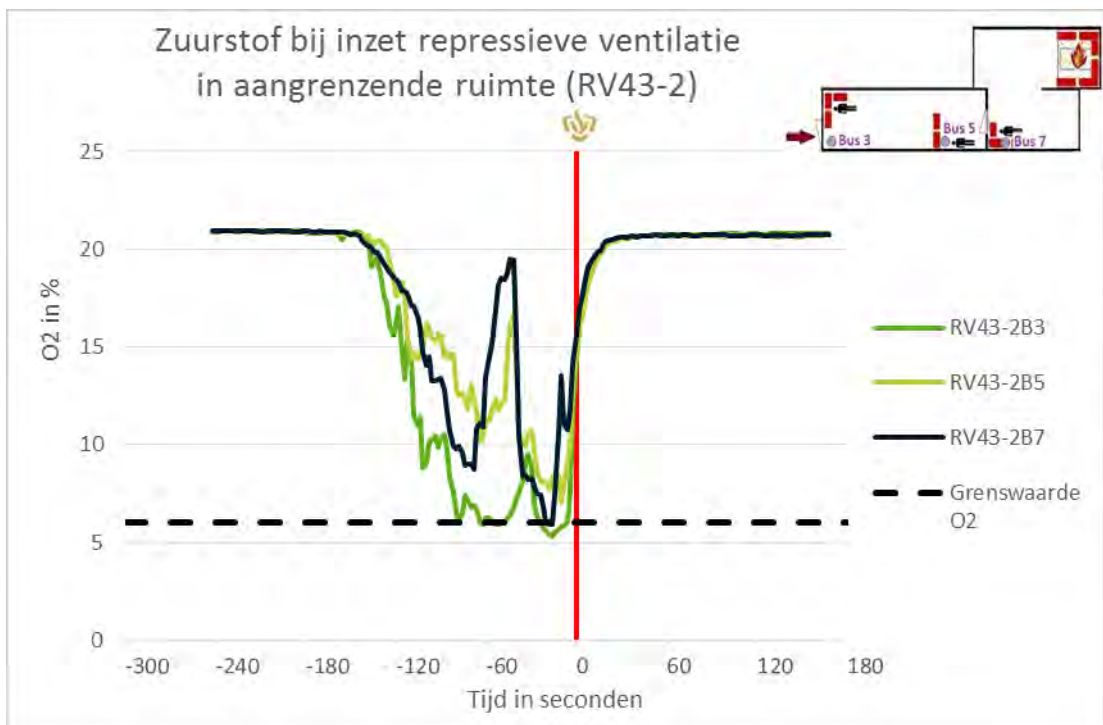
Figuur D36.



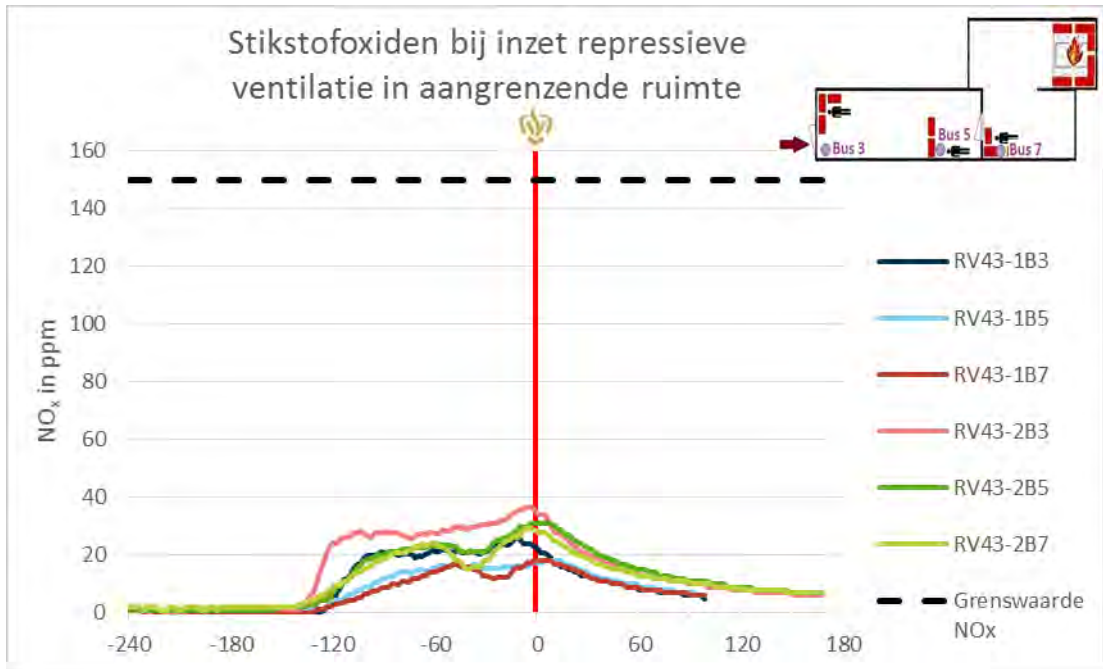
Figuur D37.



Figuur D38.



Figuur D39.



Figuur D40.

## 5. Drukluchtschuim (DLS)

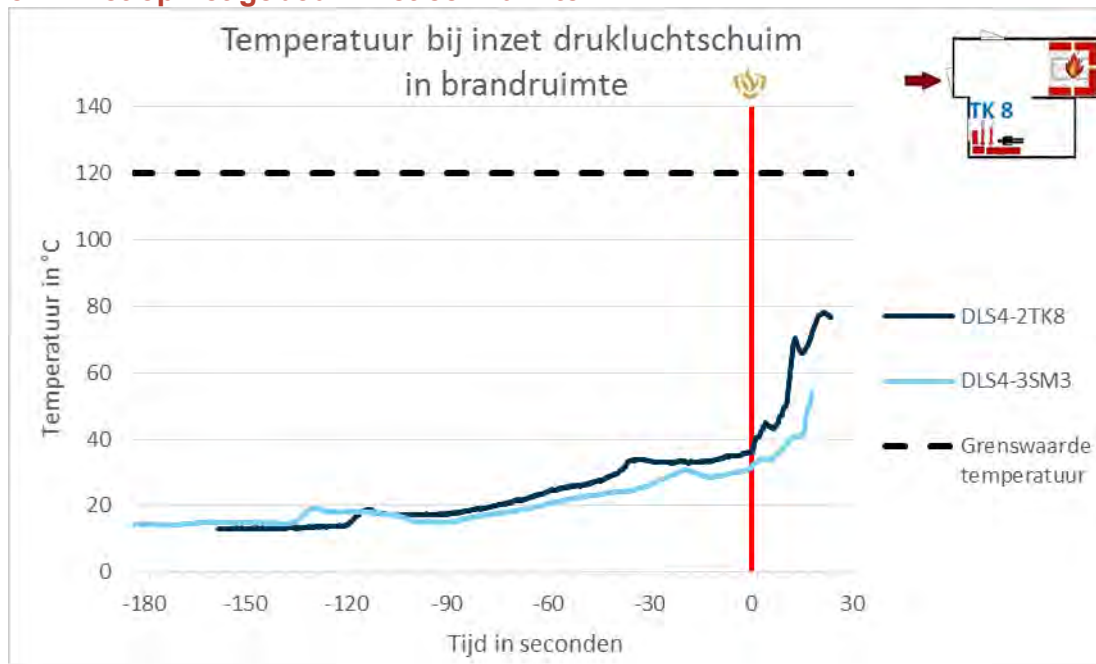
### 5.1 Maximale waarde grenswaarden in opstart- en inzetfase bij inzet op een gebouw met één ruimte

Tabel D8.

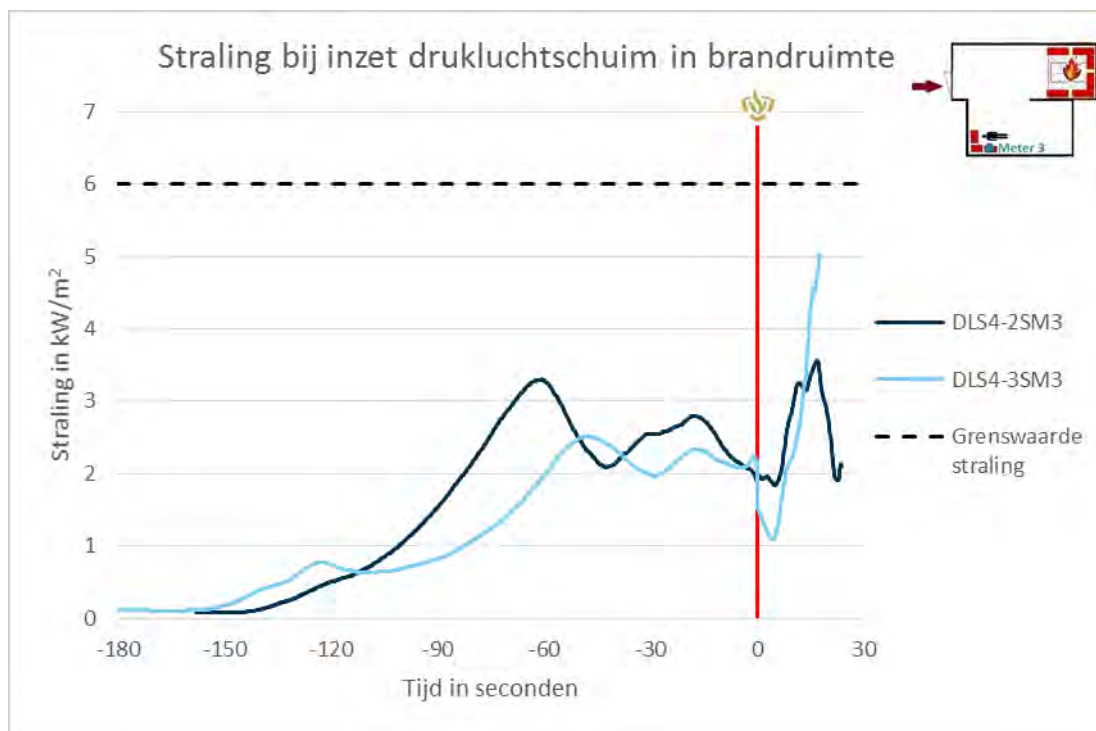
		Temperatuur in °C		Straling in kW/m <sup>2</sup>		CO in ppm		O <sub>2</sub> in % <sup>50</sup>		NO <sub>x</sub> in ppm	
		DLS 4-2	DLS 4-3	DLS 4-2	DLS 4-3	DLS 4-2	DLS 4-3	DLS 4-2	DLS 4-3	DLS 4-2	DLS 4-3
Slachtoffer 3	Maximale waarde opstartfase	36	31	3,3	2,5	2649	1405	16,0	17,7	4	3
	Maximale waarde inzetfase**	78	55	3,6	5,0	14888	5986	12,0	11,6	25	10
	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja (I)	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee

<sup>50</sup> Voor de parameter O<sub>2</sub> is het laagste O<sub>2</sub>-gehalte opgenomen.

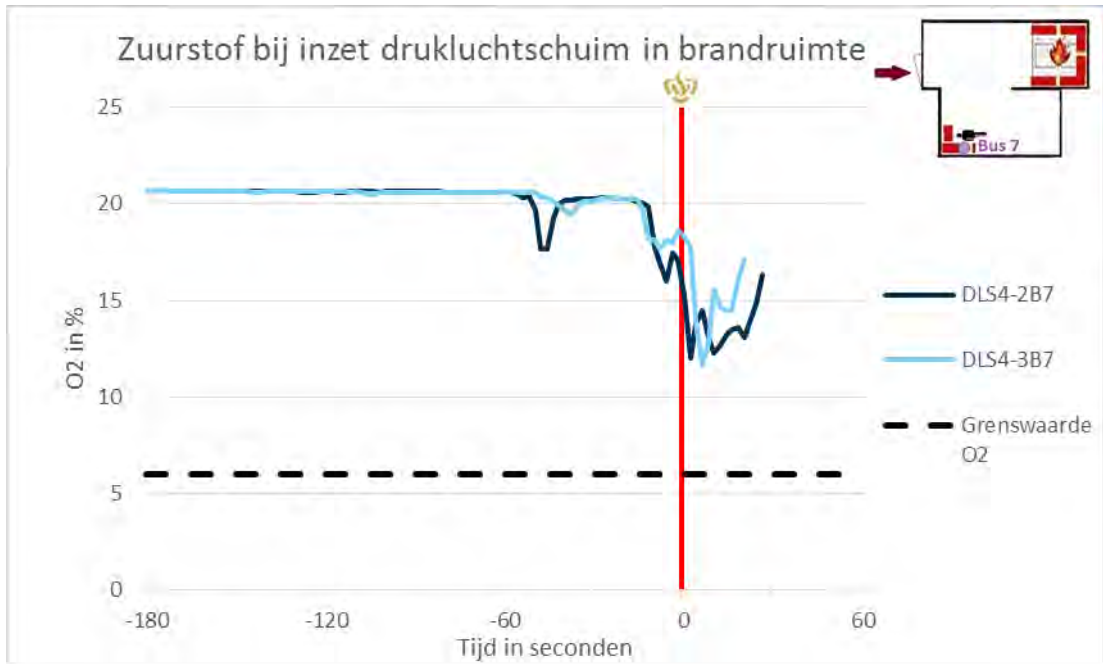
## 5.2 Inzet op het gebouw met één ruimte



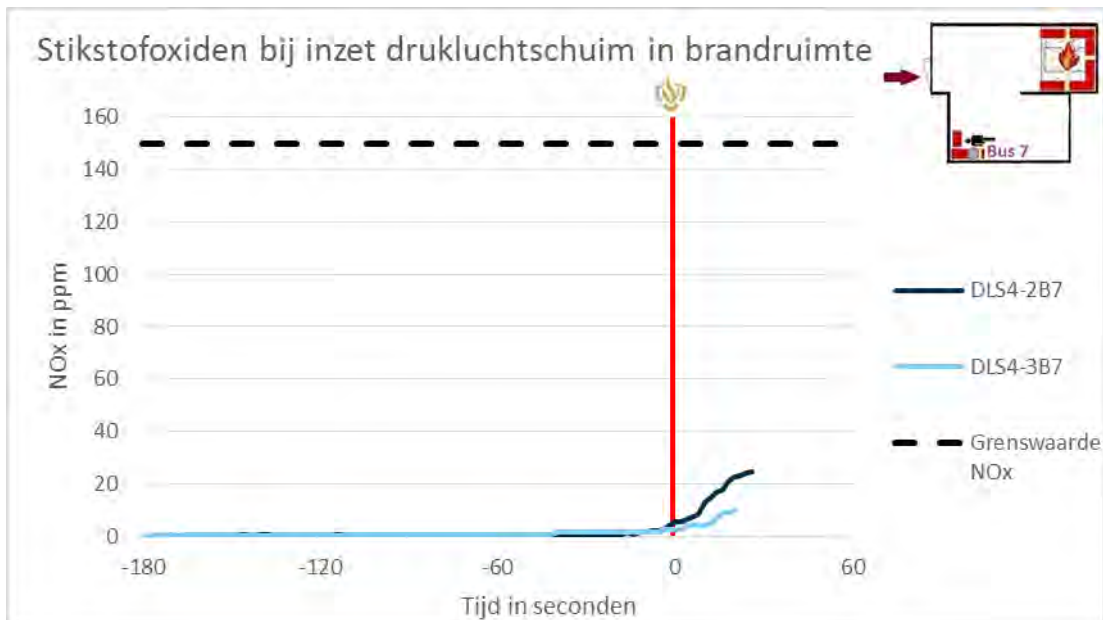
Figuur D41.



Figuur D42.



Figuur D43.



Figuur D44.

### 5.3 Maximale waarde grenswaarden in opstart- en inzetfase bij inzet op een gebouw met twee ruimten

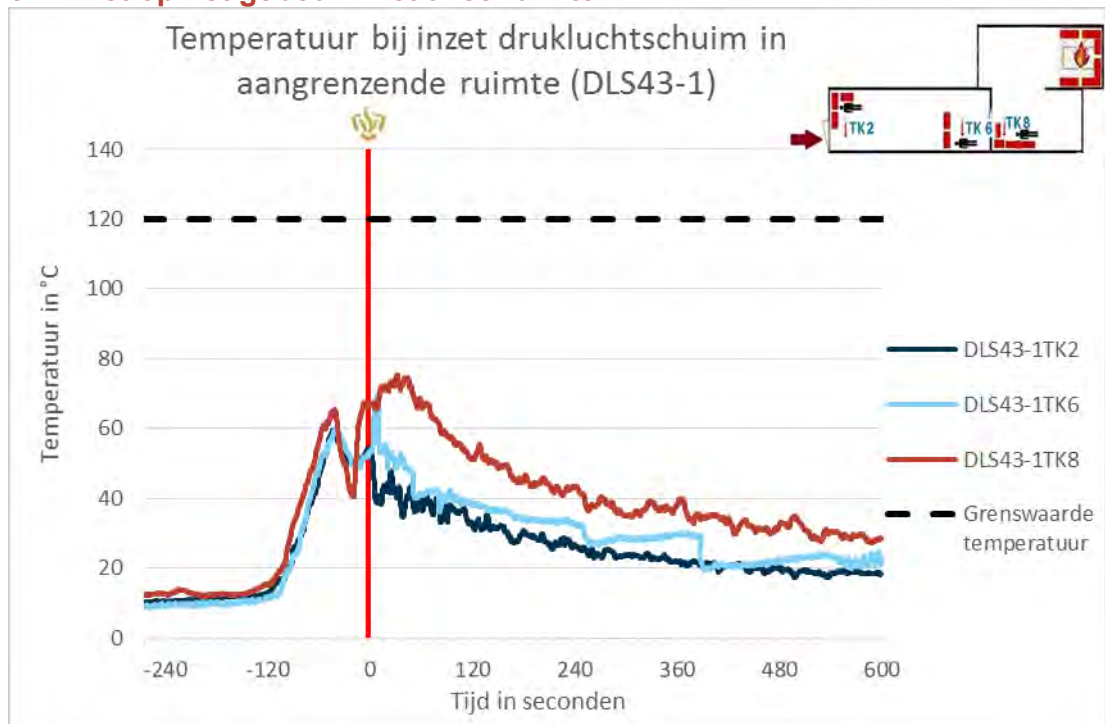
Tabel D9.

		Temperatuur in °C		Straling in kW/m <sup>2</sup>		CO in ppm		O <sub>2</sub> in % <sup>51</sup>		NO <sub>x</sub> in ppm	
		DLS 43-1	DLS 43-2	DLS 43-1	DLS 43-2	DLS 43-1	DLS 43-2	DLS 43-1	DLS 43-2	DLS 43-1	DLS 43-2
Slachtoffer 1	Maximale waarde opstartfase	60	57	2,2	2,2	23625	20906	4,6	6,8	25	23
	Maximale waarde inzetfase	54	48	3,9	3,4	26899	25702	8,8	7,9	29	70
	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja (O+)	Ja (O+)	Ja (O)	Nee	Nee	Nee
Slachtoffer 2	Maximale waarde opstartfase	60	67	2,6	3,1	59111	17153	7,5	8,0	16	16
	Maximale waarde inzetfase	70	75	6,1	5,5	51974	33698	6,3	6,3	25	96
	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Ja (I)	Nee	Ja (O+)	Ja (O+)	Nee	Nee	Nee	Nee
Slachtoffer 3	Maximale waarde opstartfase	68	71	3,4	2,9	22938	*	6,4	*	17	*
	Maximale waarde inzetfase	75	82	6,4	7,1	28427	*	6,7	*	31	*
	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Ja (I)	Ja (I)	Ja (O+)	*	Nee	*	Nee	*

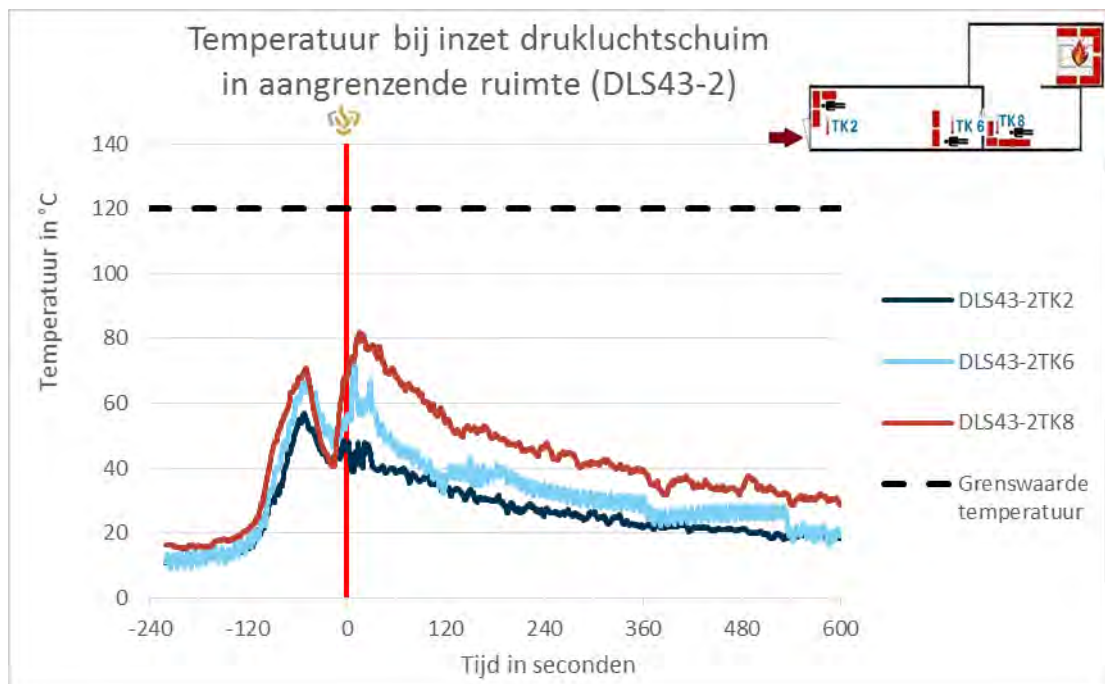
<sup>51</sup> Voor de parameter O<sub>2</sub> is het laagste O<sub>2</sub>-gehalte opgenomen.



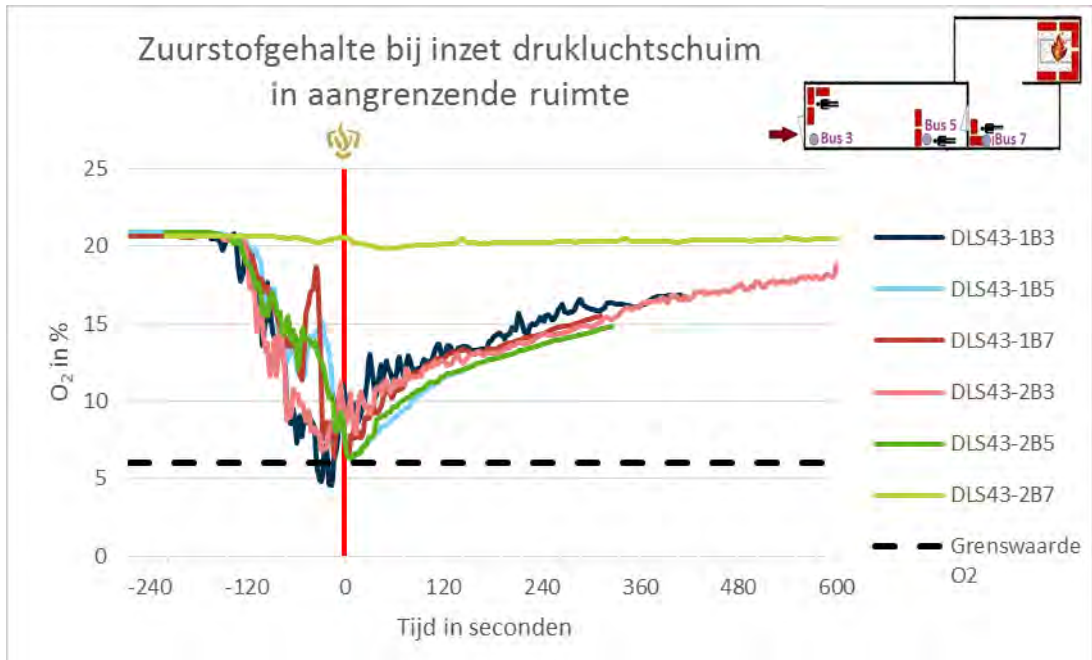
## 5.4 Inzet op het gebouw met twee ruimten



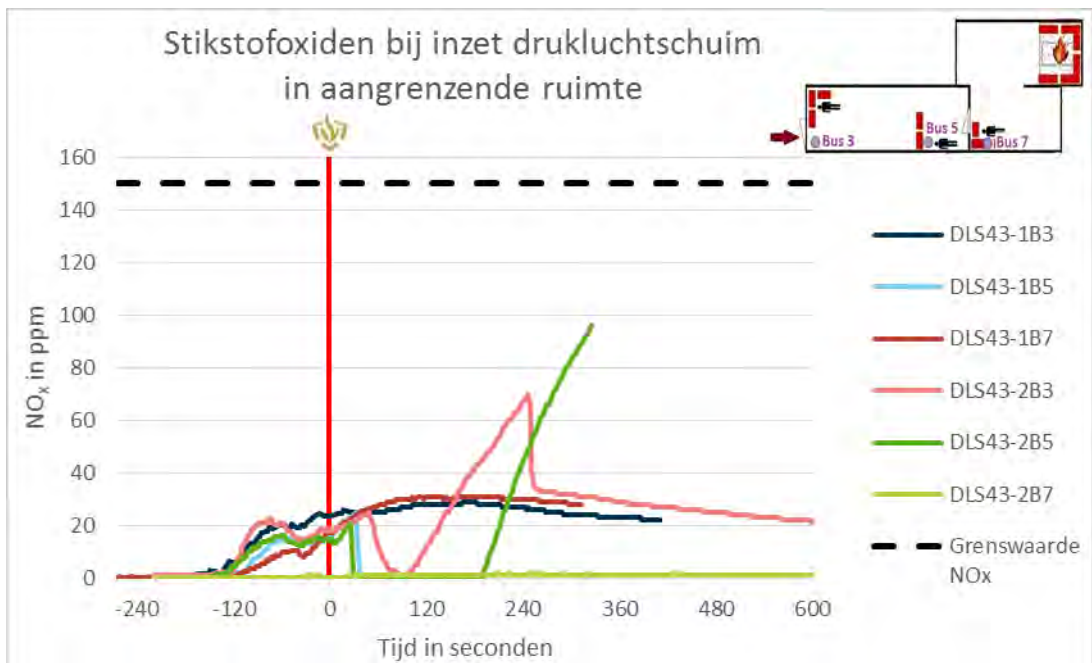
Figuur D45.



Figuur D46.



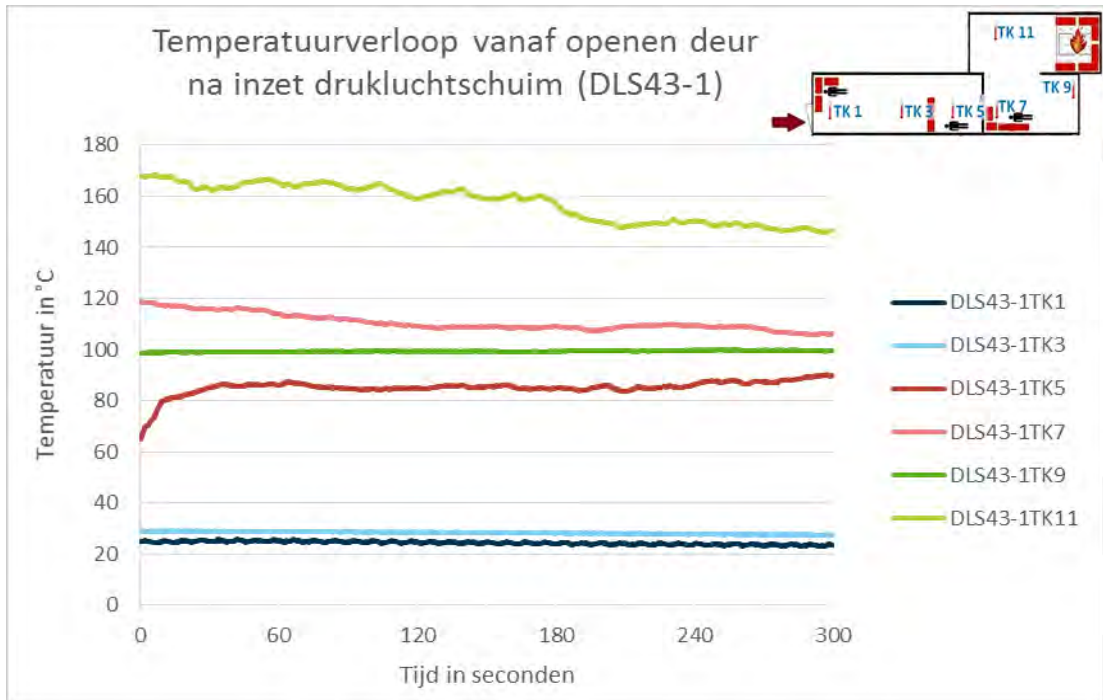
Figuur D47.



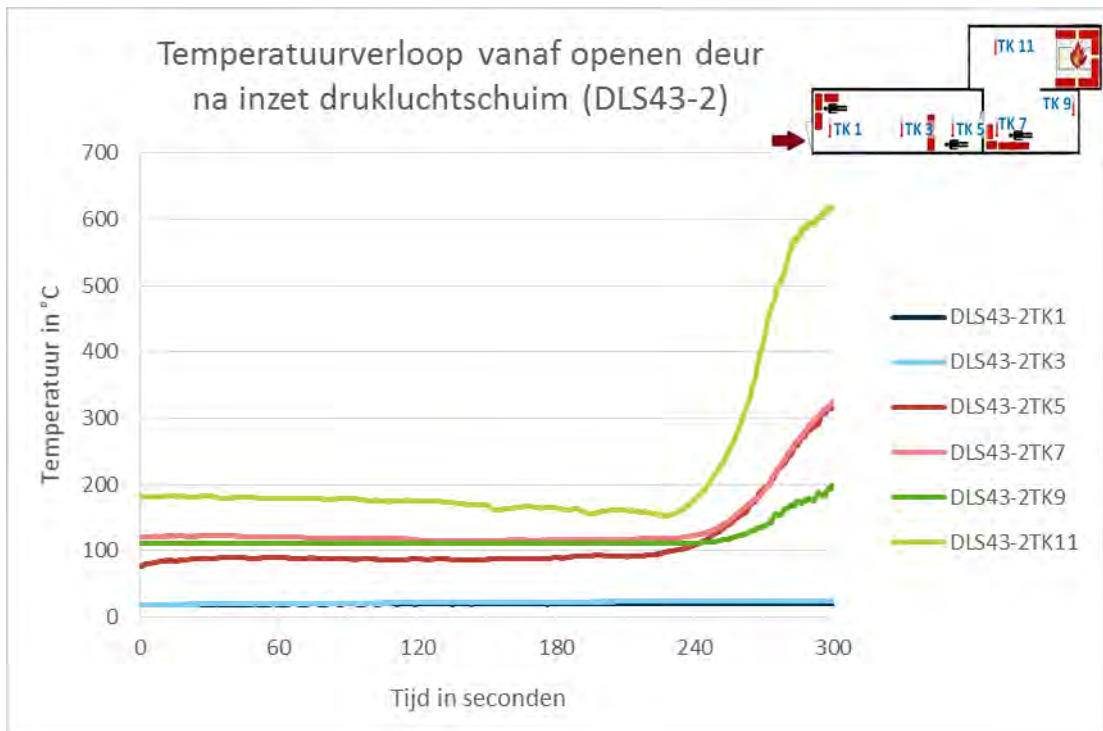
Figuur D48.

### Effect na inzet

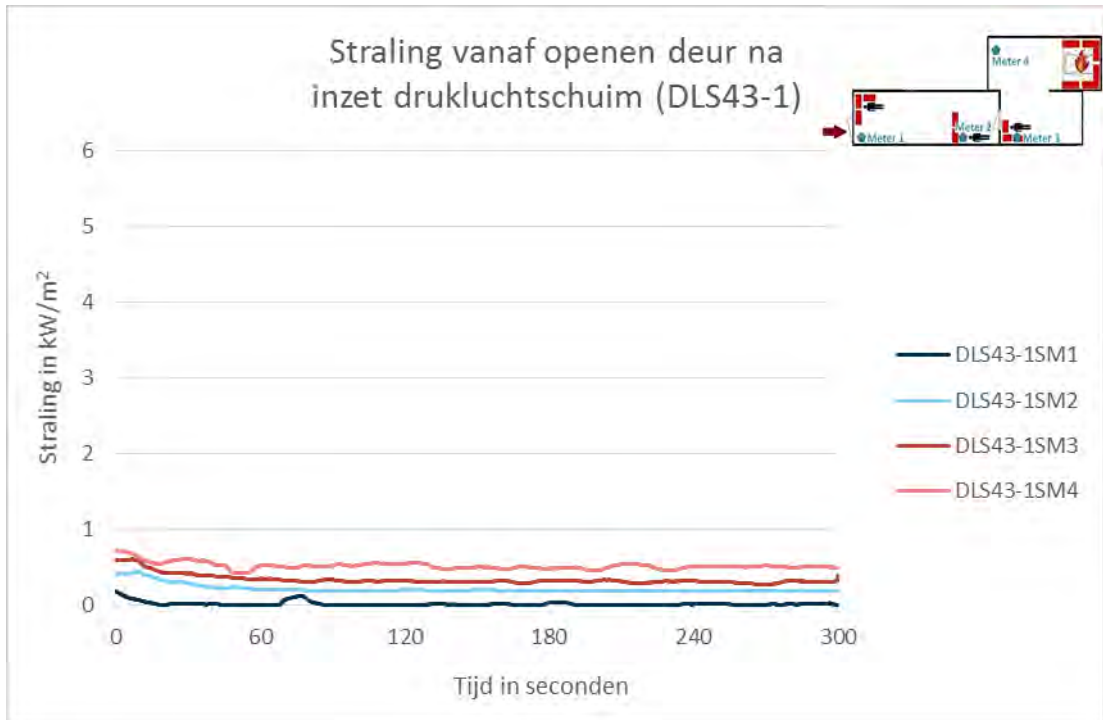
Na de inzet is de deur geopend. In onderstaande figuren zijn de resultaten weergegeven.



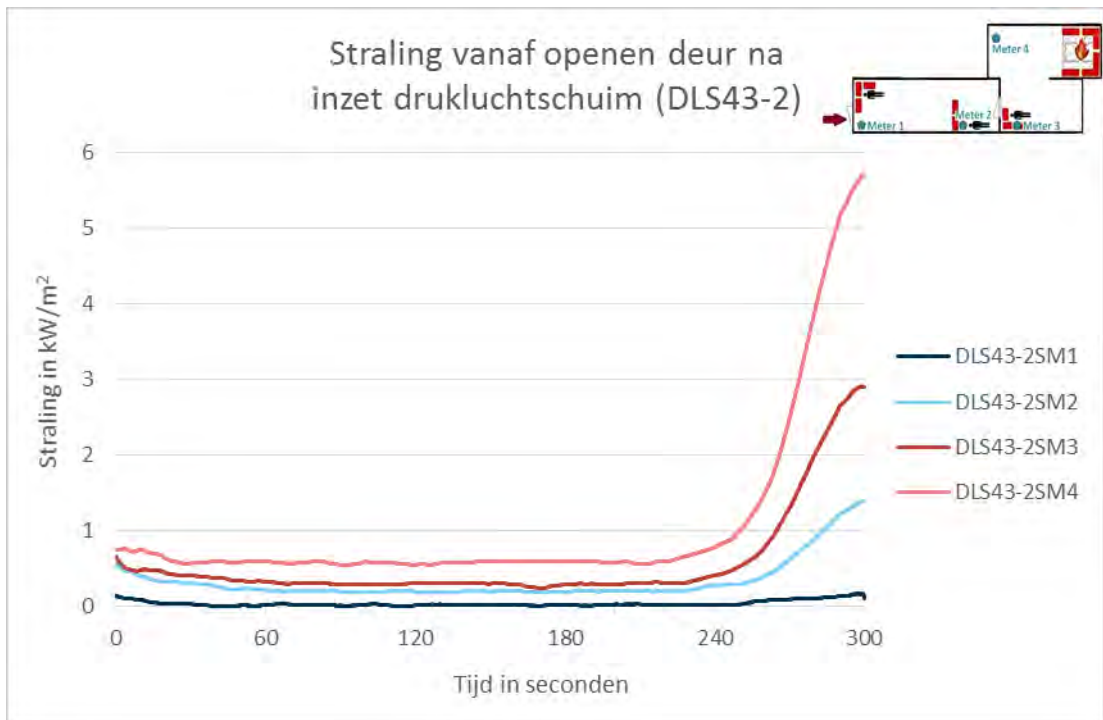
Figuur D49. Temperatuurverloop vanaf openen deur na inzet DLS op gebouw met twee ruimten (DLS43-1)



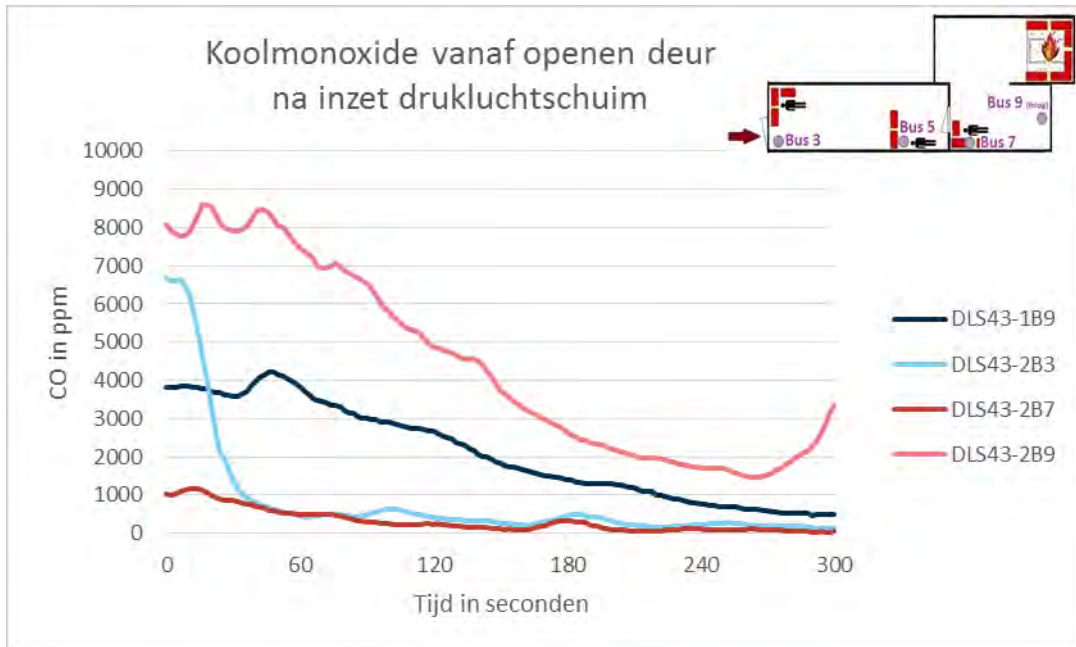
Figuur D50. Temperatuurverloop vanaf openen deur na inzet DLS op gebouw met twee ruimten (DLS43-2)



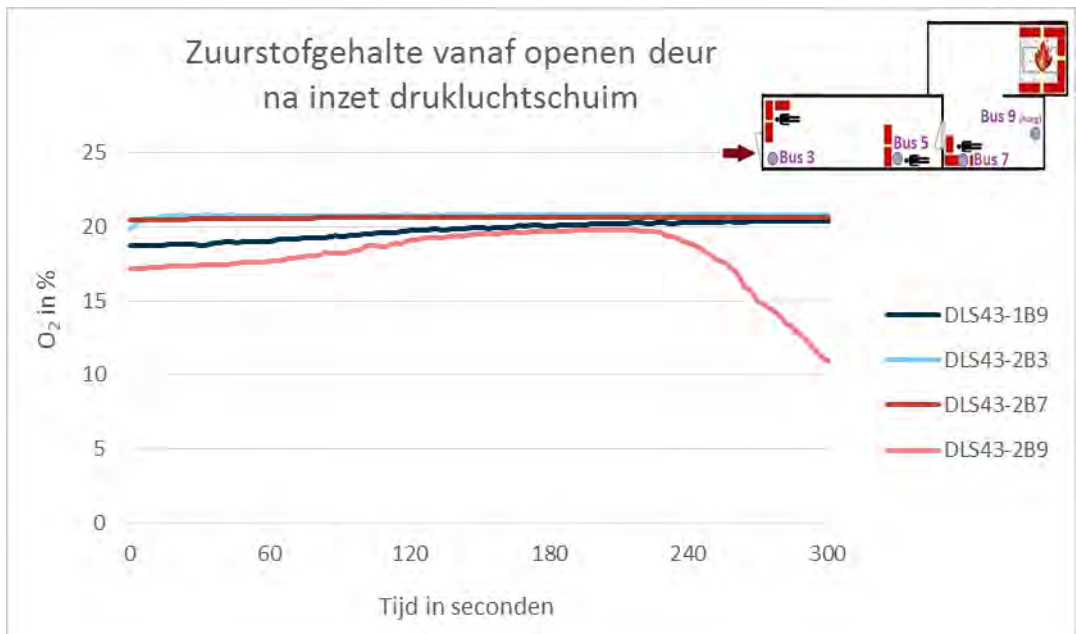
Figuur D51. Straling vanaf openen deur na inzet DLS op gebouw met twee ruimten (DLS43-1)



Figuur D52. Straling vanaf openen deur na inzet DLS op gebouw met twee ruimten (DLS43-2)



Figuur D53. Concentratie CO vanaf openen deur na inzet DLS op gebouw met twee ruimten<sup>52</sup>



Figuur D54. O<sub>2</sub>-gehalte vanaf openen deur na inzet DLS op gebouw met twee ruimten<sup>52</sup>

<sup>52</sup> Bus 3, 5 en 7 zijn tijdens DLS43-1 uitgevallen. Bij DLS43-2 is bus 5 uitgevallen.

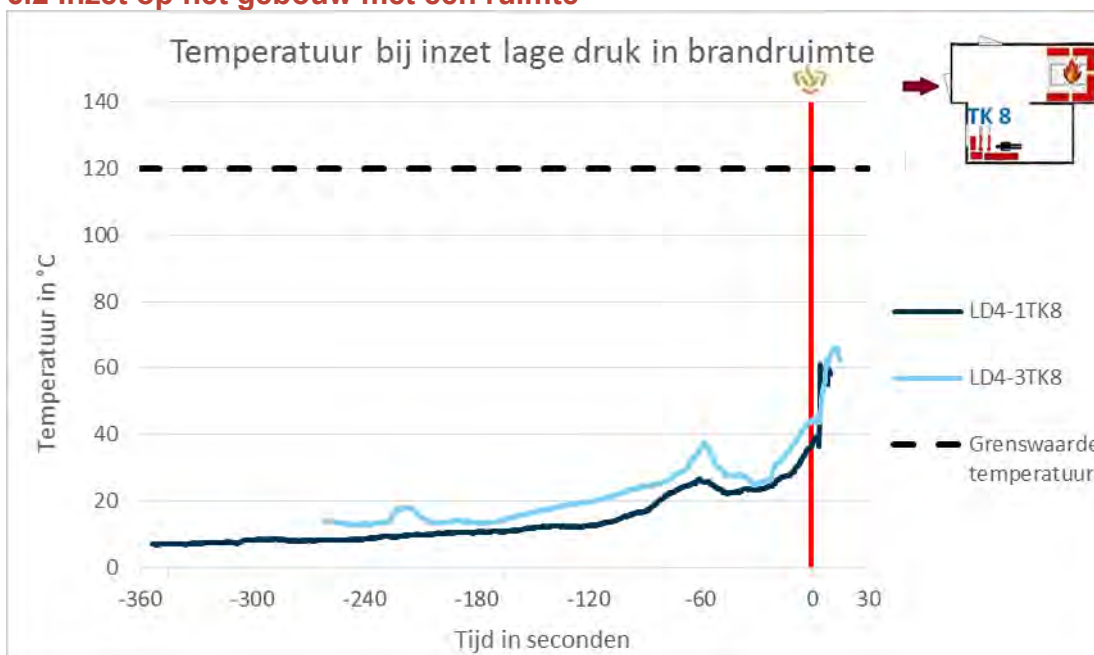
## 6. Lage druk (LD)

### 6.1 Maximale waarde grenswaarden in opstart- en inzetfase bij inzet op een gebouw met één ruimte

Tabel D10.

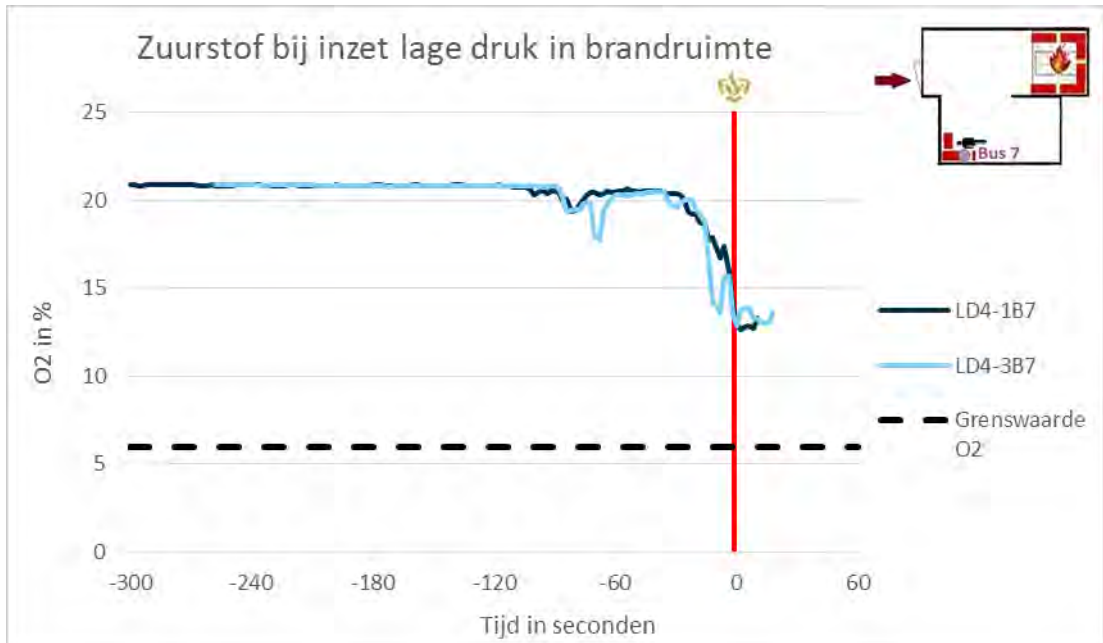
		Temperatuur in °C		Straling in kW/m <sup>2</sup>		CO in ppm		O <sub>2</sub> in % <sup>53</sup>		NO <sub>x</sub> in ppm	
		LD 4-1	LD 4-3	LD 4-1	LD 4-3	LD 4-1	LD 4-3	LD 4-1	LD 4-3	LD 4-1	LD 4-3
Slachtoffer 3	Maximale waarde opstartfase	37	45	3,2	2,9	1812	3927	14,0	13,5	3	3
	Maximale waarde inzetfase**	61	66	4,3	9,8	5859	14268	12,6	12,9	12	11
	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Ja (I)	Nee	Ja (I)	Nee	Nee	Nee	Nee

### 6.2 Inzet op het gebouw met één ruimte

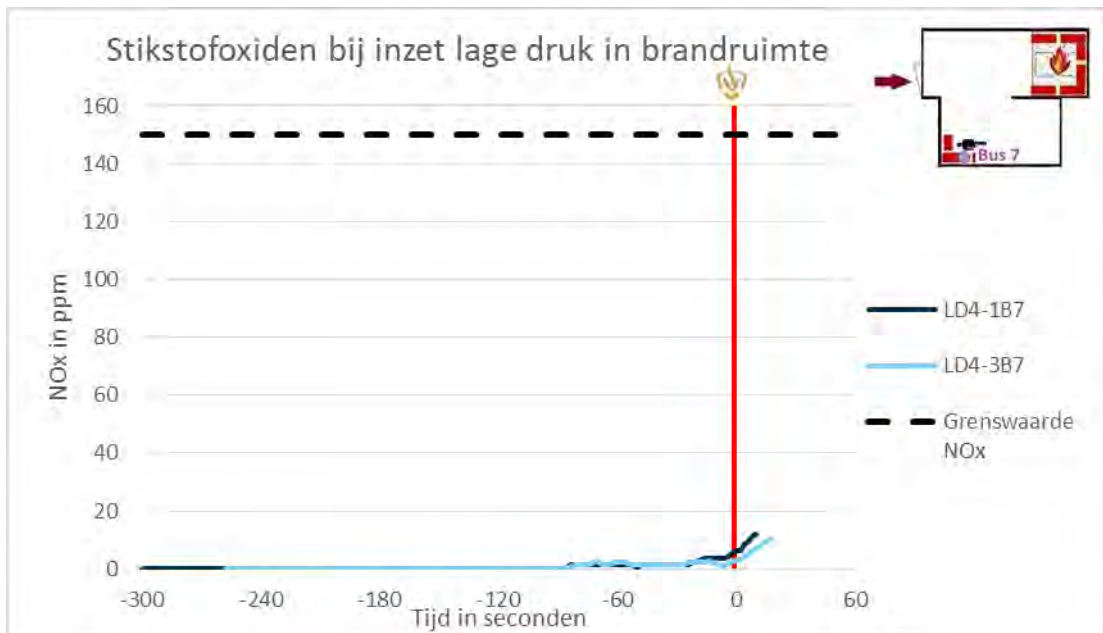


Figuur D55.

<sup>53</sup> Voor de parameter O<sub>2</sub> is het laagste O<sub>2</sub>-gehalte opgenomen.



Figuur D56.



Figuur D57.

## 6.3 Maximale waarde grenswaarden in opstart- en inzetfase bij inzet op een gebouw met twee ruimten

Tabel D11.

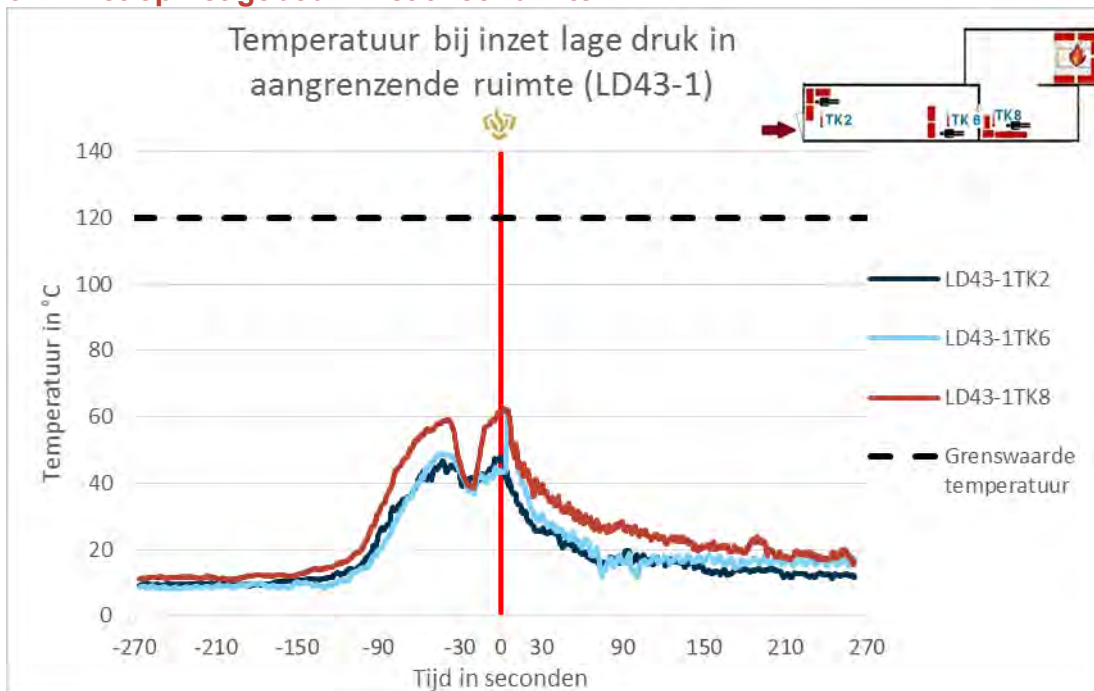
		Temperatuur in °C		Straling in kW/m <sup>2</sup>		CO in ppm		O <sub>2</sub> in % <sup>54</sup>		NO <sub>x</sub> in ppm	
		LD 43-1	LD 43-5	LD 43-1	LD 43-5	LD 43-1	LD 43-5	LD 43-1	LD 43-5	LD 43-1	LD 43-5
Slachtoffer 1	Maximale waarde opstartfase	48	64	2,3	2,7	18725	21967	7,5	4,5	17	22
	Maximale waarde inzetfase	48	54	5,3	4,8	23963	28821	9,1	9,2	20	24
	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Nee	Ja (O)	Nee	Nee
Slachtoffer 2	Maximale waarde opstartfase	49	58	3,3	2,7	14019	12820	8,6	6,3	14	19
	Maximale waarde inzetfase	62	56	5,2	8,0	85229	47078	8,1	7,2	19	.. <sup>55</sup>
	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Ja (I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Nee	Nee	Nee	Nee
Slachtoffer 3	Maximale waarde opstartfase	62	72	2,9	3,2	9556	14997	8,6	7,0	9	13
	Maximale waarde inzetfase	63	69	7,4	6,1	148560	38113	8,9	8,2	17	30
	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Ja (I)	Ja (I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Nee	Nee	Nee	Nee

<sup>54</sup> Voor de parameter O<sub>2</sub> is het laagste O<sub>2</sub>-gehalte opgenomen.

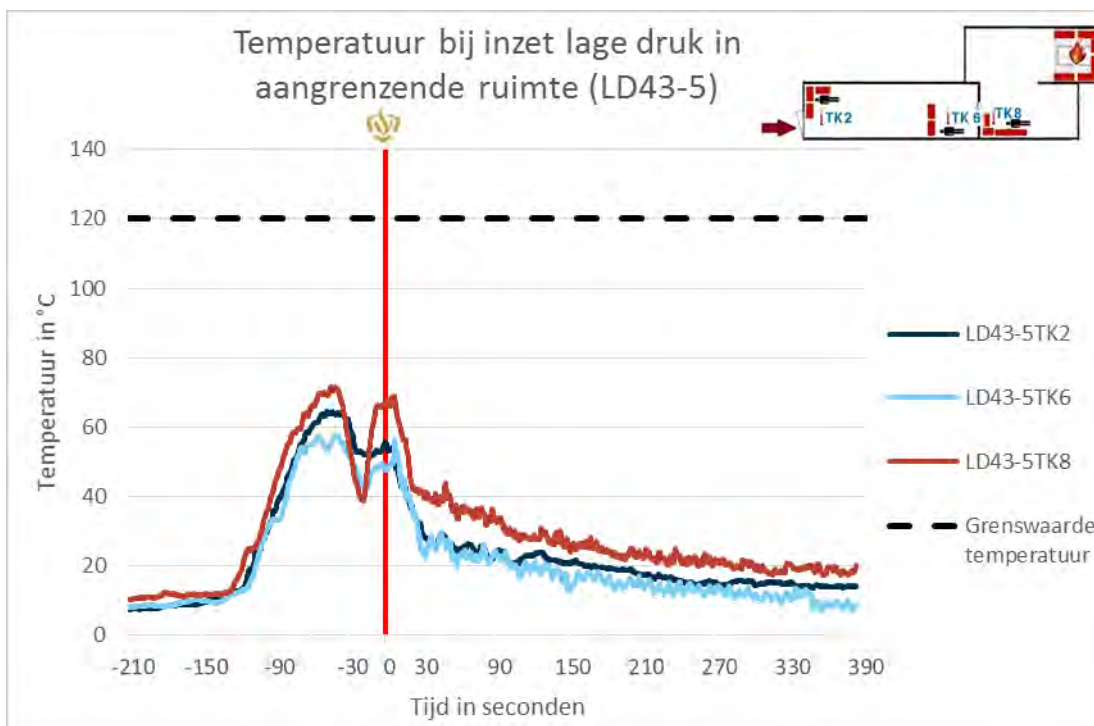
<sup>55</sup> Door het uitvallen van meetapparatuur is de waarde NO<sub>x</sub> bij slachtoffer 2 niet gemeten.



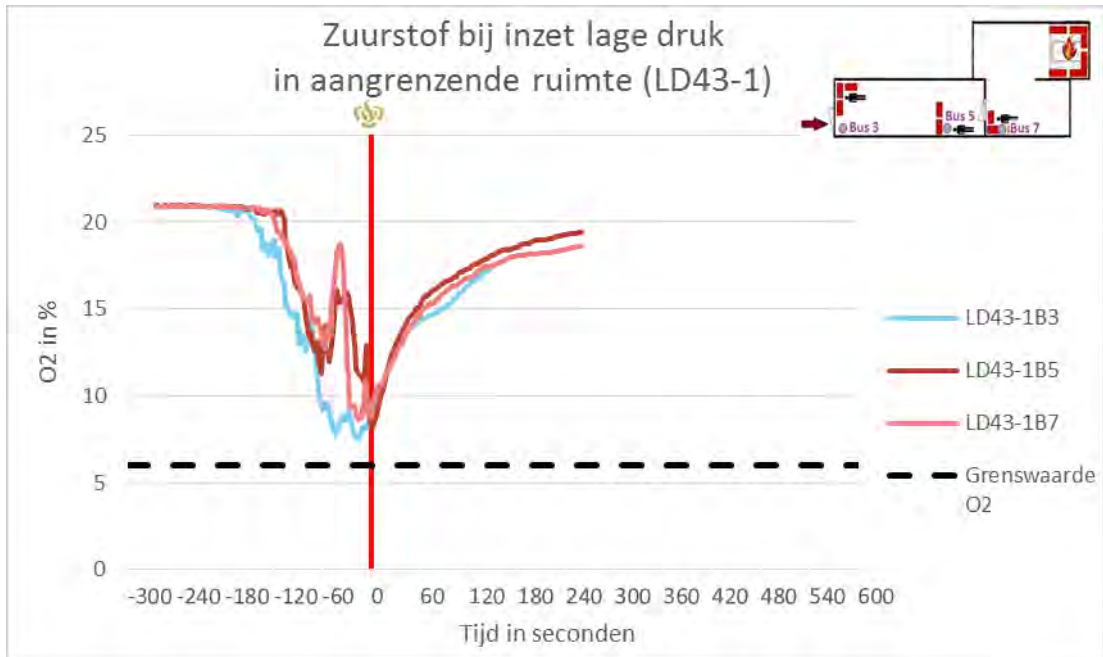
## 6.4 Inzet op het gebouw met twee ruimten



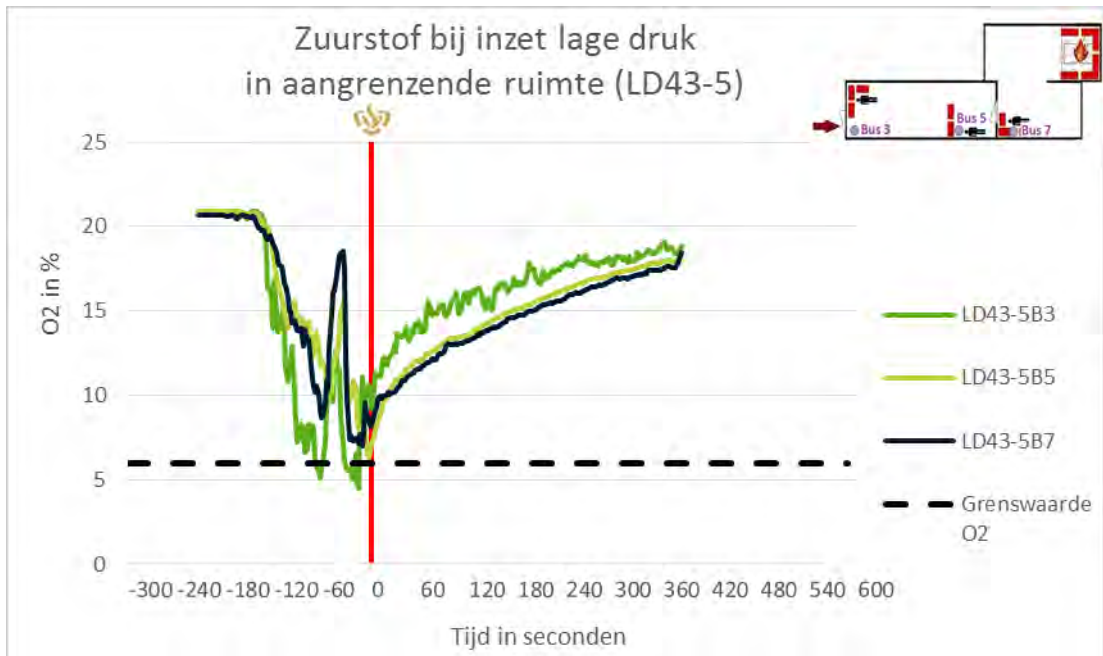
Figuur D58.



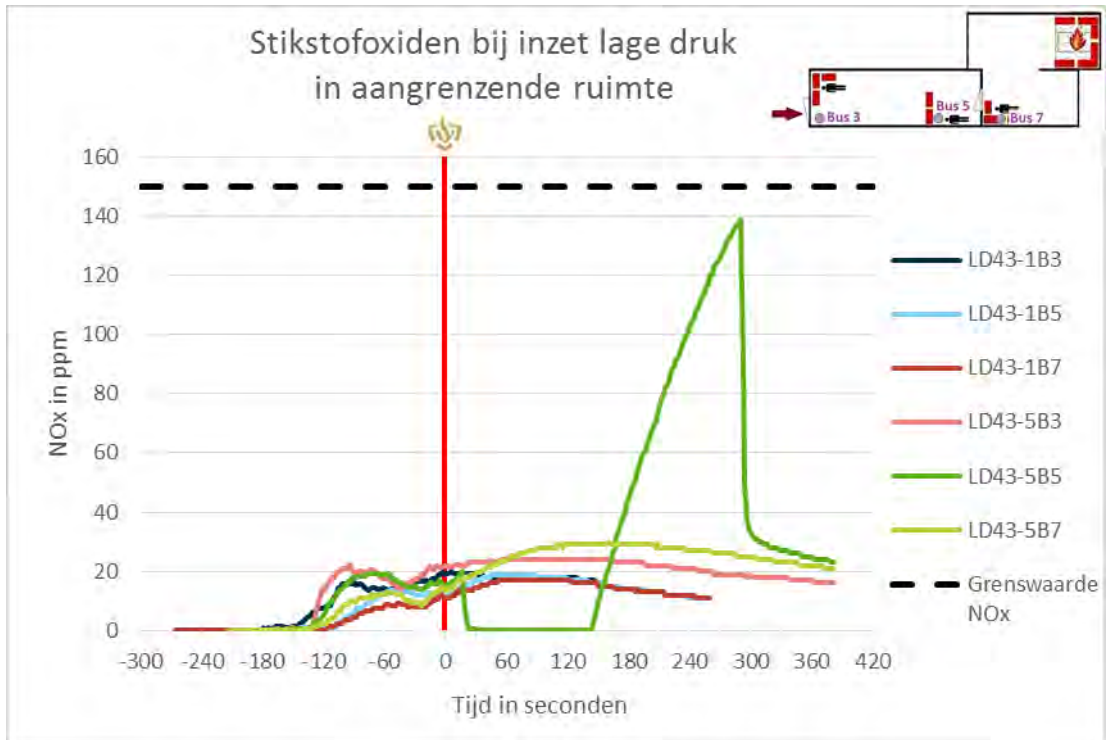
Figuur D59.



Figuur D60.



Figuur D61.



Figuur D62.

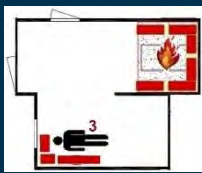
# Bijlage E Aanvullende experimenten antiventilatie

Aanvullend op de onderzochte technieken is ook onderzoek gedaan naar antiventilatie. Het principe van antiventilatie is dat het gebouw zo dicht mogelijk wordt gelaten, waardoor de brand als gevolg van O<sub>2</sub>-tekort uiteindelijk of voldoende afkoelt voor een offensieve binneninzet. In Nederland is deze methode nog niet gebruikelijk of onderzocht. De nulmeting, zoals in het rapport, richt zich op de eerste 10 minuten, gelijk aan de inzetijd van de offensieve buiteninzettechnieken. Na afloop van deze 10 minuten is het experiment voortgezet door het gebouw gesloten te houden, als antiventilatieexperiment. De resultaten van de eerste 10 minuten zijn daarom gelijk aan de nulmeting. Daarbij is gesteld dat de proef maximaal 60 minuten mocht duren. In de onderstaande paragrafen zijn de resultaten weergegeven voor zowel het gebouw met één ruimte als met twee ruimten.

## 1.1 Maximale waarde grenswaarden in opstart- en inzetfase bij inzet op een gebouw met één ruimte

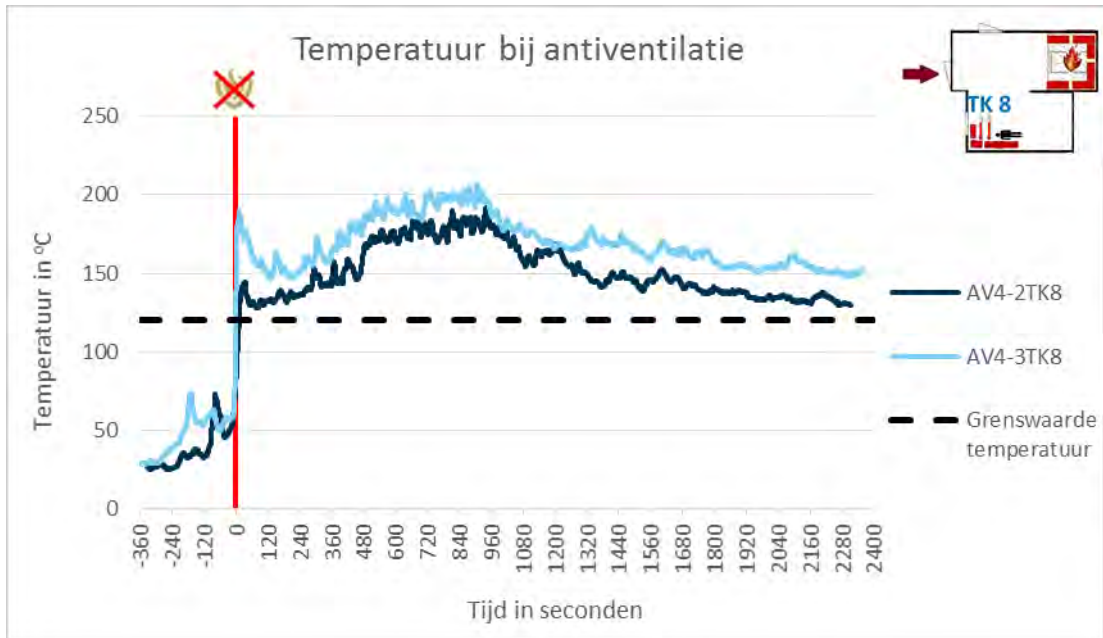
In onderstaande tabel is de overschrijding van de grenswaarde weergegeven. Temperatuur, straling, CO worden zowel in de inzetfase als in de opstartfase overschreden. Bij O<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> is dit beeld wisselend.

Tabel E1.

	Temperatuur in °C		Straling in kW/m <sup>2</sup>		CO in ppm		O <sub>2</sub> in % <sup>56</sup>		NO <sub>x</sub> in ppm		
	AV 4-2	AV 4-3	AV 4-2	AV 4-3	AV 4-2	AV 4-3	AV 4-2	AV 4-3	AV 4-2	AV 4-3	
Slachtoffer 3	Maximale waarde opstartfase	79	120	9,7	18,1	25810	23825	4,9	5,0	18	46
	Maximale waarde inzetfase	192	207	10,1	18,1	186889	67140	2,0	6,1	41	220
	Grenswaarde overschreden?	Ja (I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O)	Nee	Ja (I)

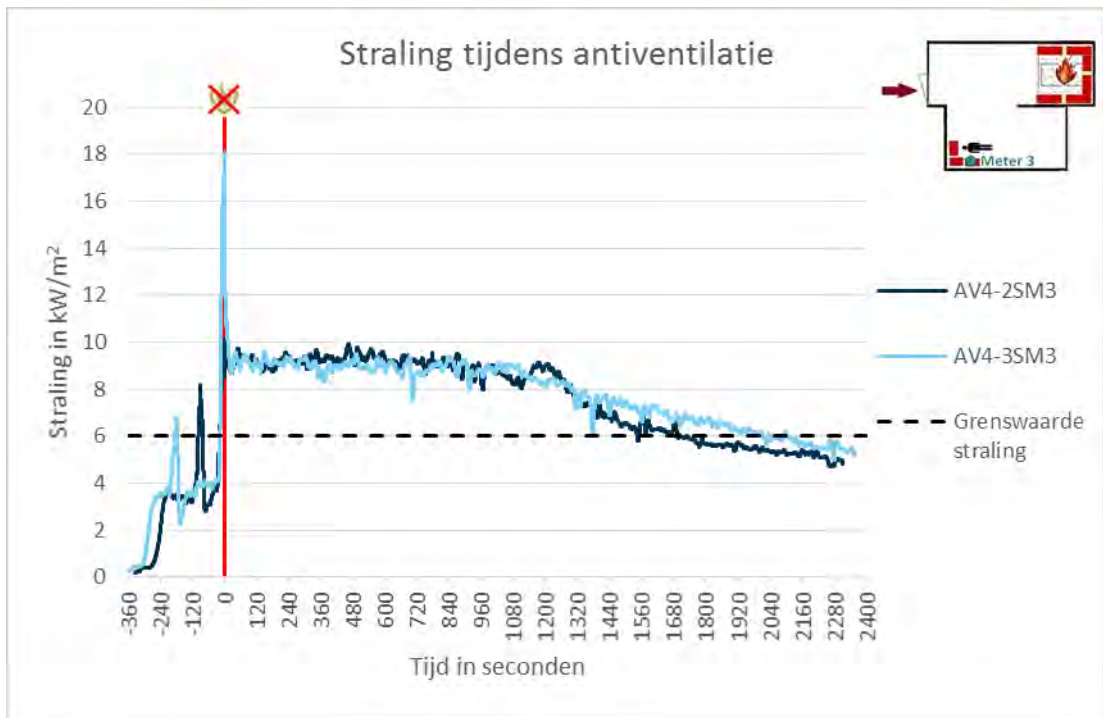
Te zien is dat de temperatuur vrijwel direct na de start de grenswaarde overschrijdt. Daarna stijgt de temperatuur eerst nog iets, waarna deze gestaag afneemt.

<sup>56</sup> Voor de parameter O<sub>2</sub> is het minimale O<sub>2</sub>gehalte opgenomen.



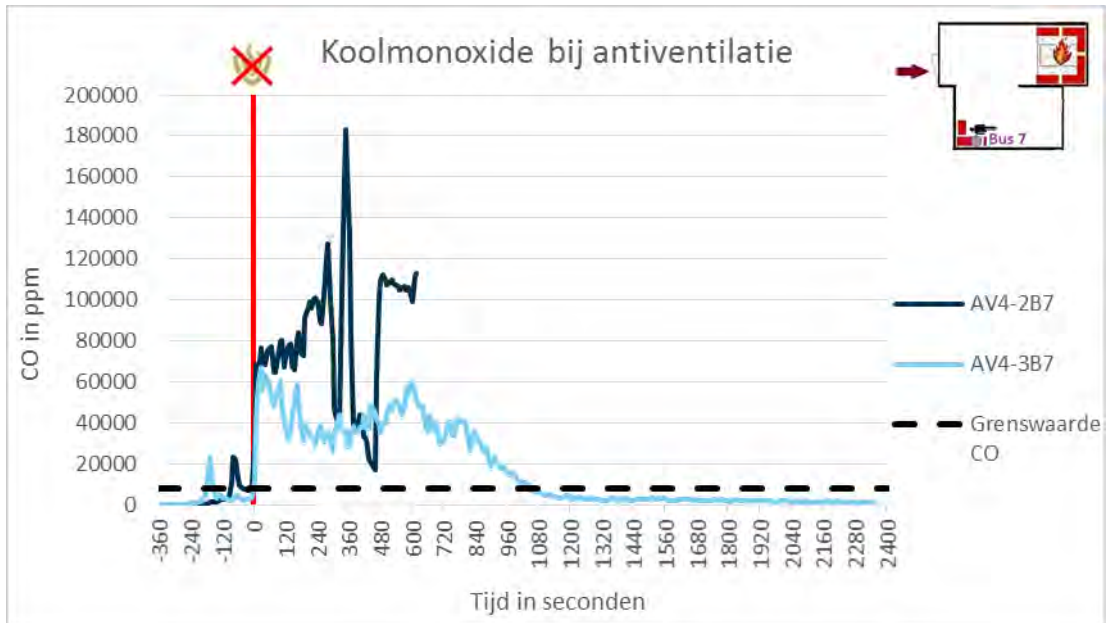
**Figuur E1.**

De straling komt al voor de start boven de grenswaarde, met het piek rond het moment waarop normaal gesproken de inzet start. De straling daalt gestaag, en komt pas bij de laatste 5 minuten onder de grenswaarde.



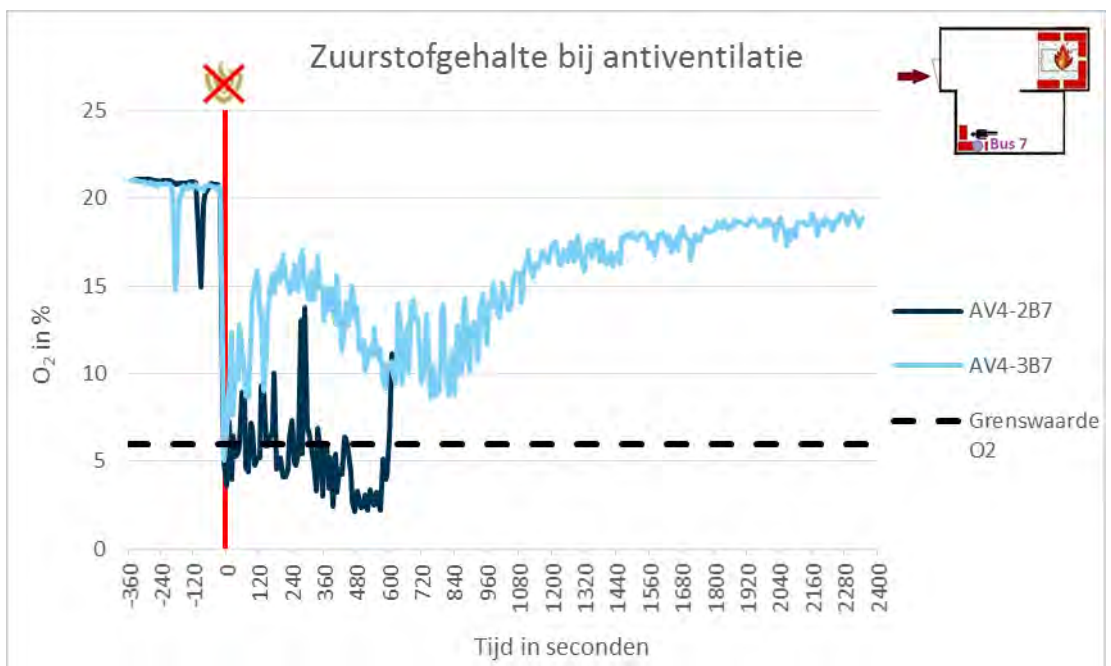
**Figuur E2.**

Bij CO is te zien dat bij het ene experiment er sprake is van een forse toename naar 180.000 ppm (ruim boven de onderste explosiegrens!). Halverwege de test valt deze meter uit. Bij de andere test neemt deze in eerste instantie ook toe, en neemt vervolgens af.



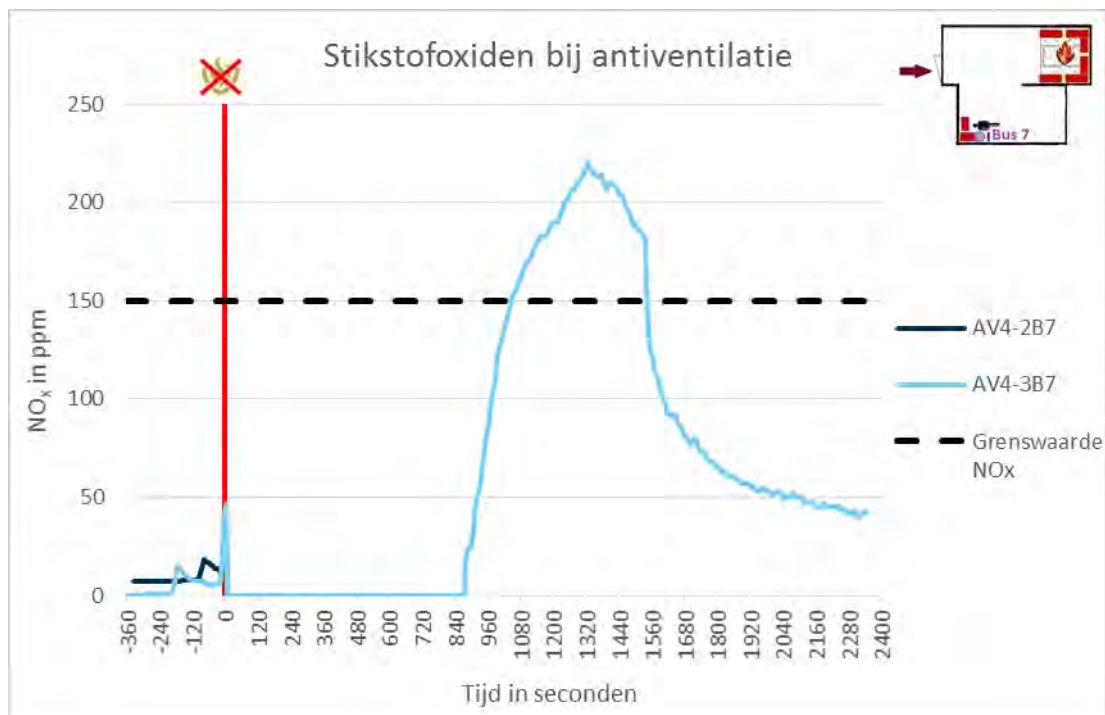
Figuur E3.

Bij het O<sub>2</sub>-gehalte is te zien dat deze rond het moment van de 'inzet' daalt, en vervolgens weer stijgt.



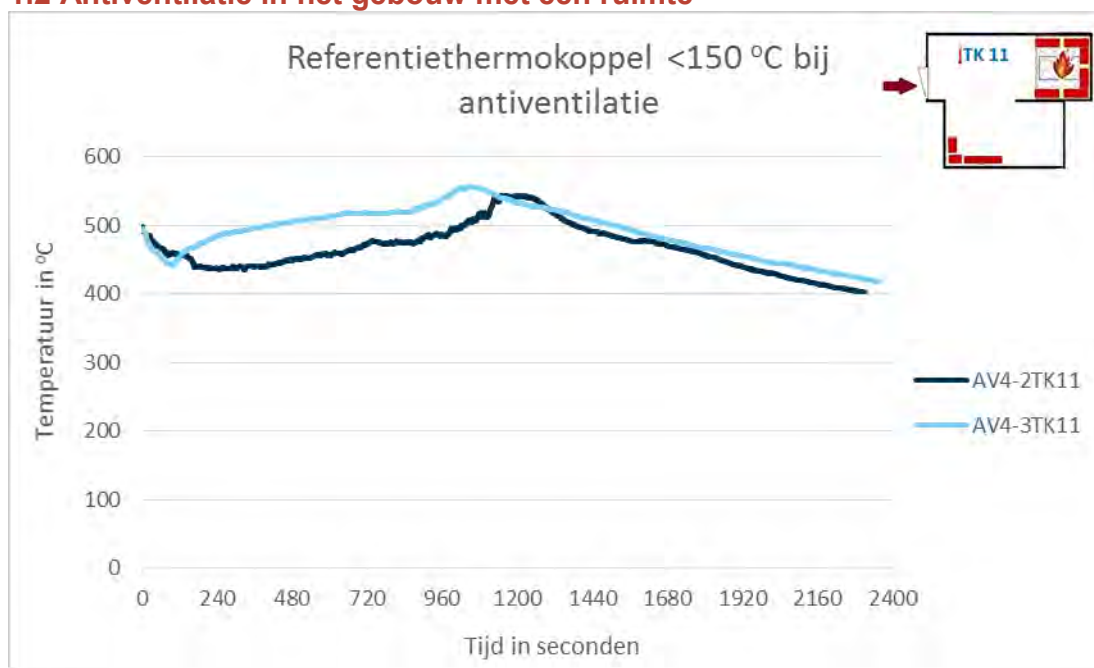
Figuur E4.

NO<sub>x</sub> zijn slechts bij één test gemeten. Hierbij overschrijdt de concentratie ruim de grenswaarde voor overleefbaarheid.



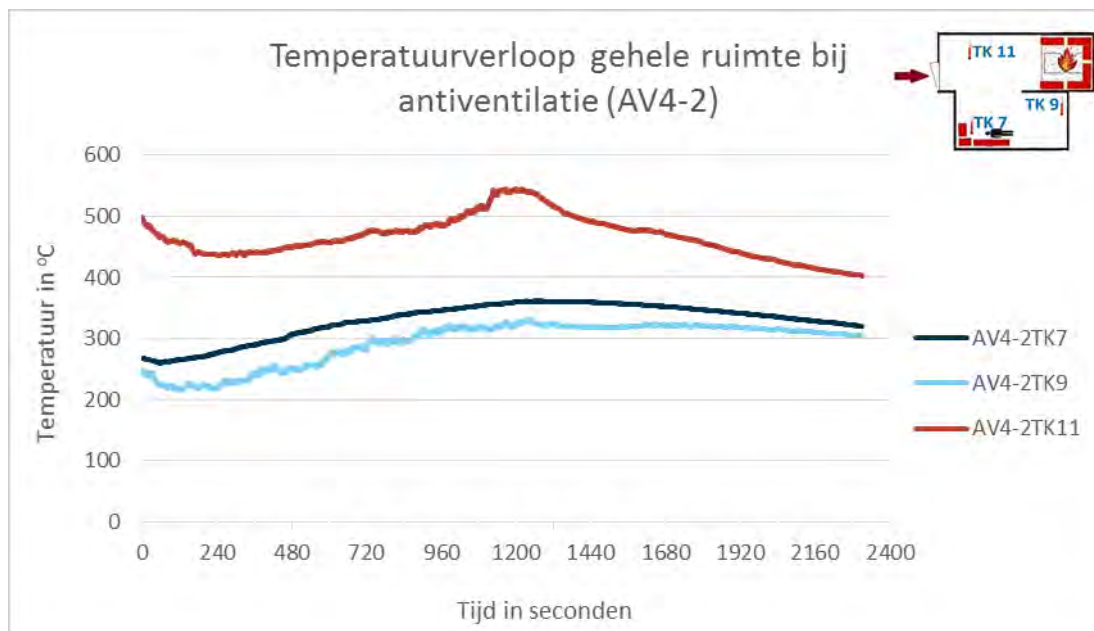
Figuur E5.

## 1.2 Antiventilatie in het gebouw met één ruimte

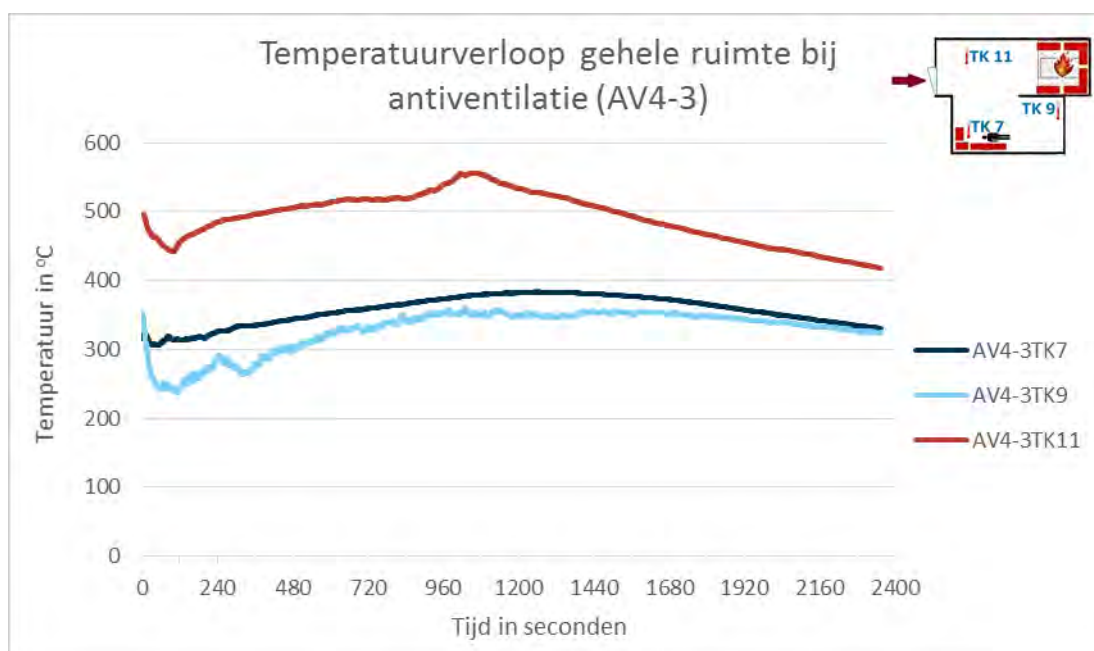


Figuur E6.

Te zien is dat de temperatuur na circa 20 minuten beperkt gaat afnemen. Op de beelden is te zien dat de brandstof opraakt. Wel blijft de temperatuur tot het einde van het experiment boven de 400 °C.



Figuur E7.



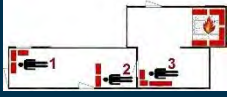
Figuur E8.

### 1.3 Maximale waarde grenswaarden in opstart- en inzetfase bij inzet op een gebouw met twee ruimten

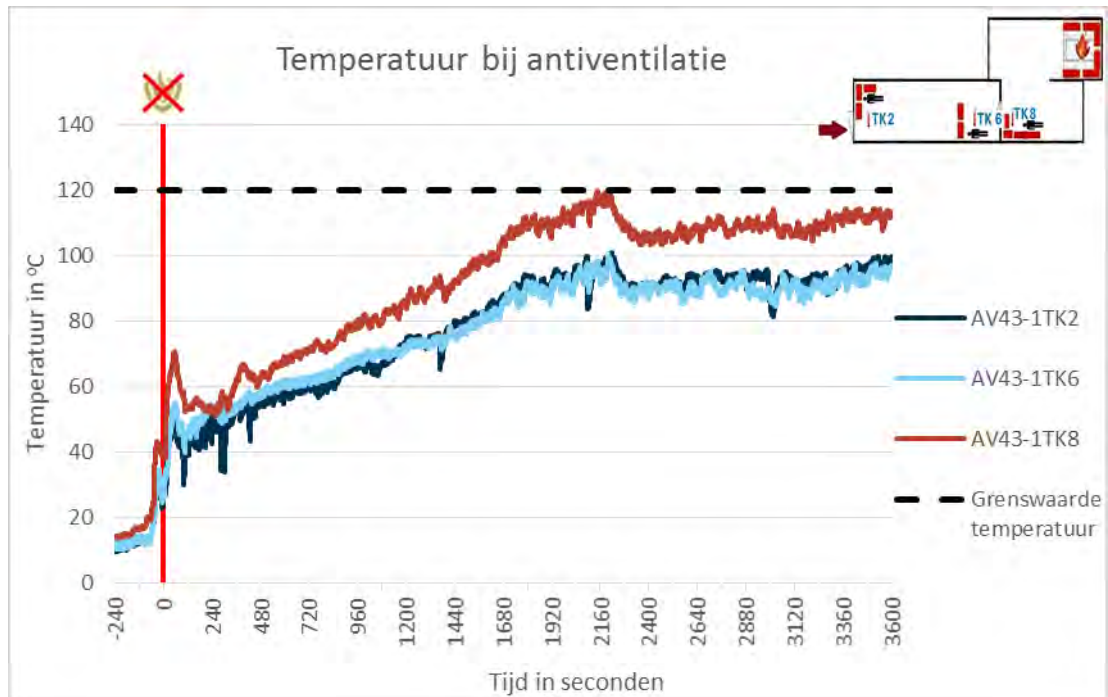
Bij de grenswaarden voor overleefbaarheid worden de grenswaarden voor straling, CO en O<sub>2</sub> bij alle drie slachtoffers overschreden. Bij NO<sub>x</sub> geldt dit voor slachtoffer 2 en 3, en bij temperatuur alleen voor slachtoffer 3.



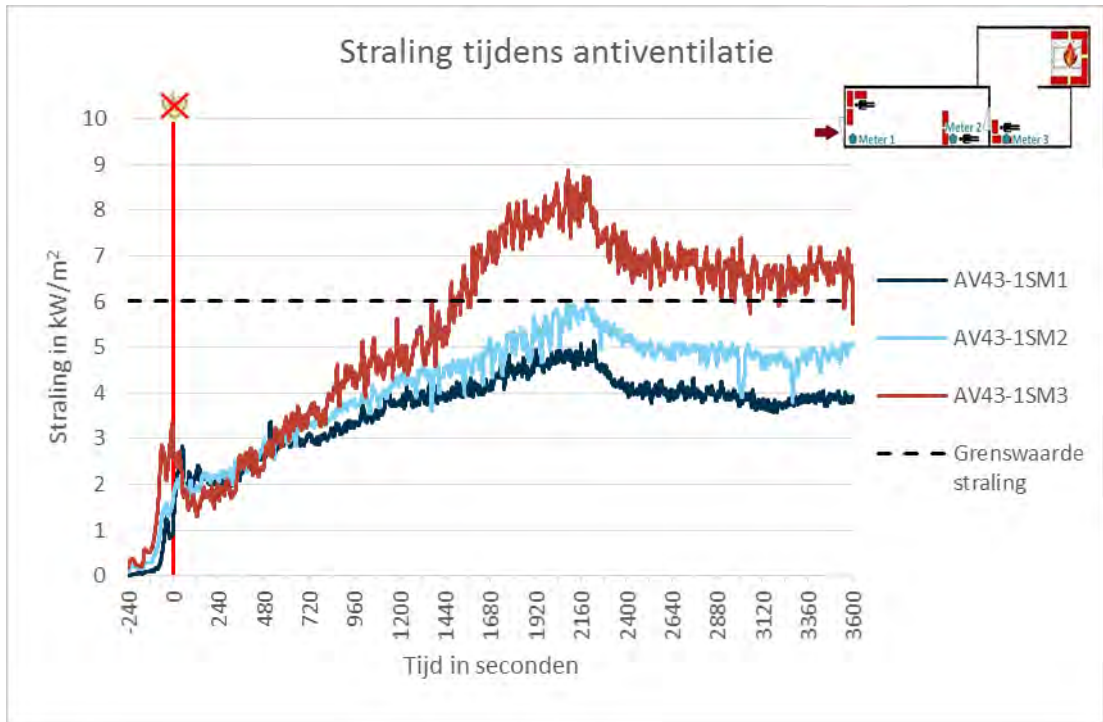
Tabel E2.

		Temperatuur in °C	Straling in kW/m <sup>2</sup>	CO in ppm	O <sub>2</sub> in %	NO <sub>x</sub> in ppm
Slachtoffer 1	Maximale waarde opstartfase	30	1,3	3706	14,9	17
	Maximale waarde inzetfase	101	5,1	50369	2,4	143
	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Ja (I)	Ja (I)	Nee
Slachtoffer 2	Maximale waarde opstartfase	35	1,8	2694	17,9	7
	Maximale waarde inzetfase	100	6,0	45578	2,9	161
	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Ja (I)	Ja (I)	Ja (I)
Slachtoffer 3	Maximale waarde opstartfase	43	3,4	2115	16,6	7
	Maximale waarde inzetfase	120	8,9	64273	2,8	398
	Grenswaarde overschreden?	Ja (I)	Ja (I)	Ja (I)	Ja (I)	Ja (I)

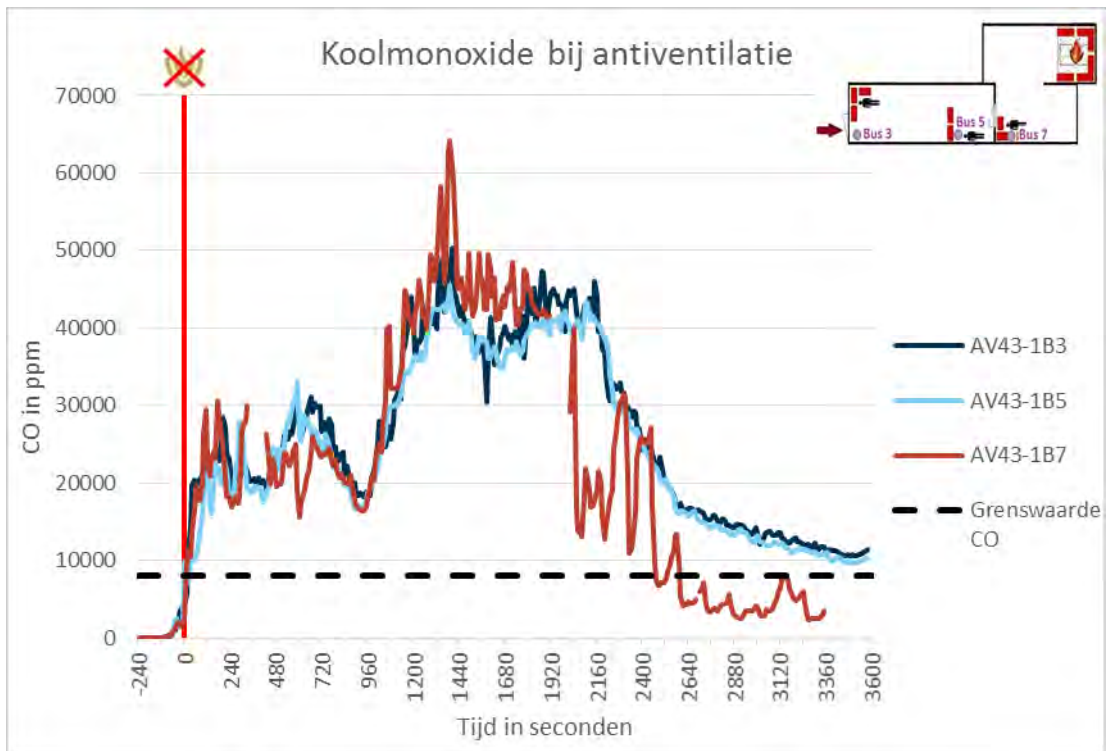
Dit is ook te zien in onderstaande figuren.



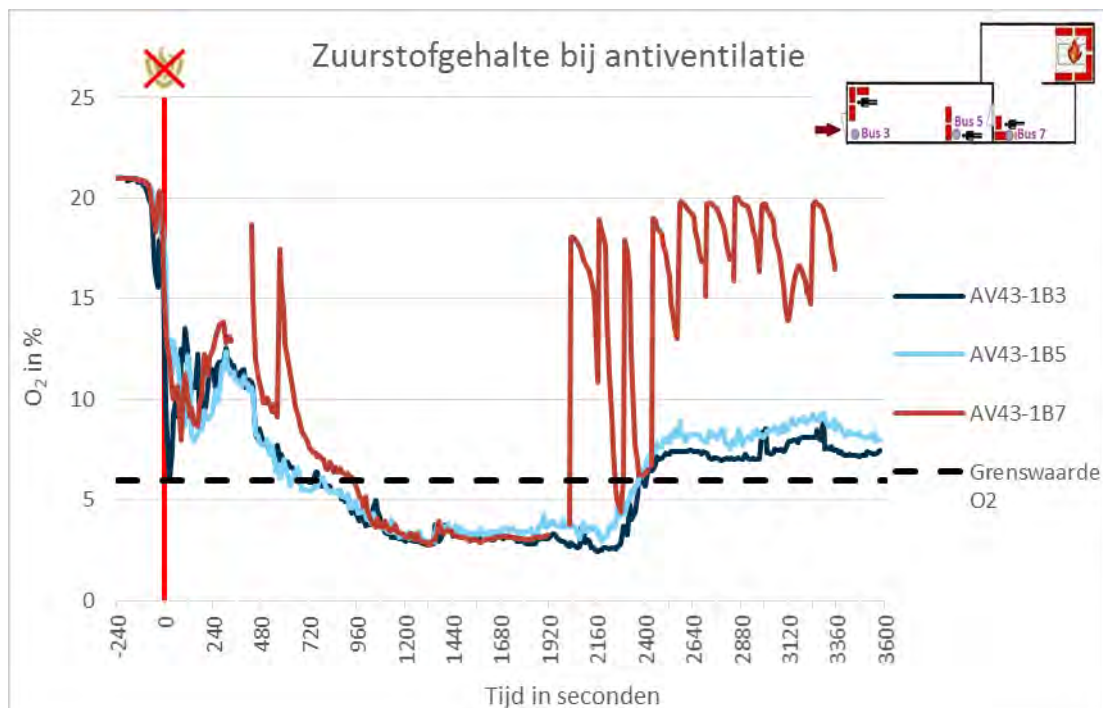
Figuur E9.



Figuur E10.



Figuur E11.



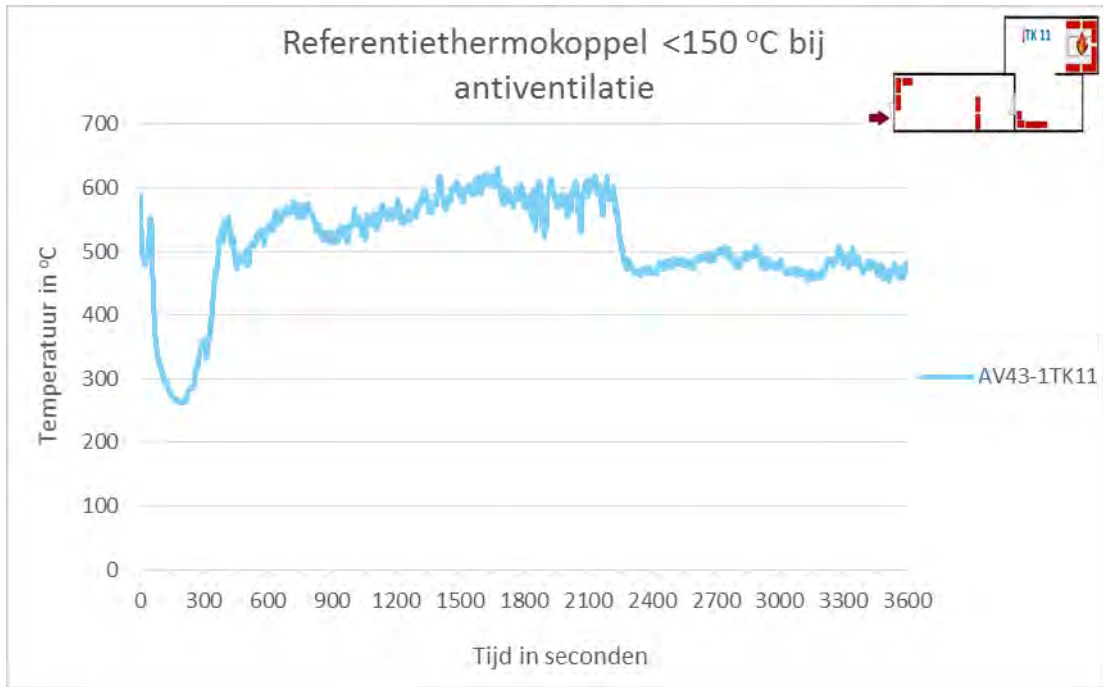
Figuur E12.



Figuur E13.

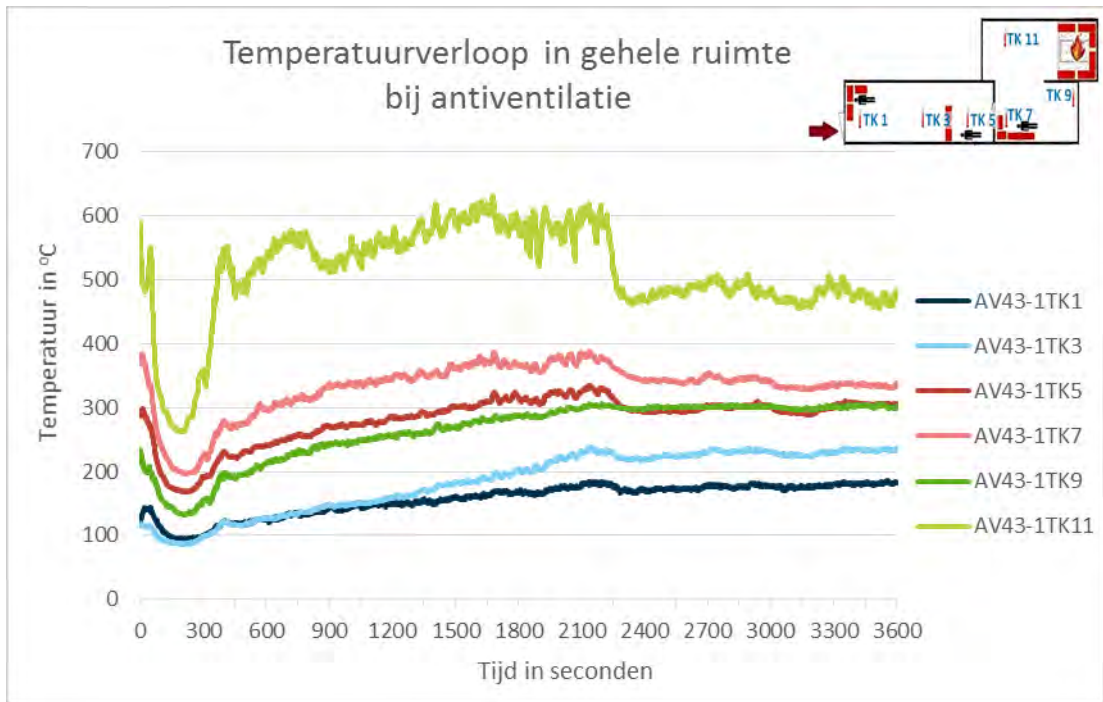
#### 1.4 Antiventilatie in het gebouw met twee ruimten

In het gebouw met twee ruimten laat de temperatuur in eerste instantie een forse daling zien, waarna de temperatuur na ongeveer 5 minuten weer toeneemt naar het startniveau. Vervolgens blijft deze ruim 30 minuten min of meer stabiel. In de laatste fase neemt de temperatuur af als gevolg van het opraken van de brandstof.



Figuur E14.

Op de overige meetpunten is een vergelijkbaar patroon te zien.



Figuur E15.