

# Samenvattend brandweerrapport

## Onderzoek naar de effectiviteit van verticale ventilatie en repressieve tactieken bij eengezinswoningen door de brandweer

FIREFIGHTER SAFETY  
RESEARCH INSTITUTE



EVIDENCE YOU NEED.  
EXPERIENCE YOU TRUST.



FIREFIGHTER SAFETY  
RESEARCH INSTITUTE  
[ULfirefightersafety.com](http://ULfirefightersafety.com)



## Vooraf

Dit document maakt deel uit van het volledige technische rapport met de naam *Study of the Effectiveness of Fire Service Vertical Ventilation and Suppression Tactics in Single Family Homes*<sup>1</sup> dat kan worden gedownload op [www.ULfirefightersafety.com](http://www.ULfirefightersafety.com). Er wordt in dit document geen aanvullende informatie gegeven, maar het bevat inleidend materiaal, een samenvatting van de opzet van de experimenten, tactische overwegingen van de brandweer en een samenvatting van het volledige rapport. Raadpleeg het volledige rapport voor meer details en een bespreking van de uitkomsten.

## 1. Inleiding

Uit de brandweerstatistiek blijkt dat er nog steeds dodelijke slachtoffers te betreuren zijn onder brandweermensen en burgers. Een belangrijke oorzaak hiervoor is dat er nog te weinig inzicht is in het effect van ventilatie op het brandgedrag als ventilatie als repressieve techniek wordt ingezet bij een brand in een woongebouw. Dit gebrek aan inzicht in het effect van ventilatie op brandgedrag wordt nog versterkt door de veranderde dynamiek van woningbrand als gevolg van de veranderingen in de afgelopen 30 jaar van bouwmaterialen, interieur, omvang en configuratie van woongebouwen (Kerber S., 2012). Ventileren leidt, als het goed wordt toegepast, tot beter zicht en het vermindert het risico op flashover of backdraft. Als bij een brand niet goed wordt geventileerd, kan dat resulteren in een vroegere flashover wat de veiligheid van de brandweermensen ernstig in gevaar brengt (Kerber S., 2012).

In dit brandonderzoeksproject zijn wetenschappelijke gegevens ontwikkeld aan de hand van experimenten met woningbranden op ware grootte waarbij onderzoek werd gedaan naar verticale ventilatie, repressietechnieken en daaruit voortvloeiend brandgedrag. Het doel van dit onderzoek is de kennis van de brandweer te verbeteren over de effecten van verticale ventilatie en de impact van verschillende repressietechnieken. De experimentele bevindingen kunnen worden gebruikt voor het ontwikkelen van tactische overwegingen waarin wordt beschreven hoe ventilatie- en repressietechnieken kunnen worden gebruikt bij de brandbestrijding, met het doel om verwondingen of dodelijke slachtoffers onder brandweermensen te voorkomen. In dit brandonderzoeksproject wordt verder gewerkt met de resultaten van eerder onderzoek dat werd gefinancierd door DHS AFG (EMW-2008-FP-01774), waarbij de invloed van horizontale ventilatie door deuren en ramen werd onderzocht (Kerber S., 2010).

### 1.1. Achtergrond

De NFPA<sup>2</sup> schat dat Amerikaanse brandweerkorpsen tussen 2002 en 2011 (Karter, 2012) jaarlijks voor gemiddeld 398.000 woningbranden uitrukten. Deze branden veroorzaakten jaarlijks naar schatting gemiddeld 2.820 dodelijke burgerslachtoffers en 13.780 gewonden onder burgers. Meer dan 70% van de gemelde woningbranden en 84% van de fatale woningbranden vond plaats in woongebouwen voor een of twee gezinnen, de rest in flats of vergelijkbare gebouwen. In de periode van 2006 tot 2009 raakten er in de Verenigde Staten naar schatting jaarlijks gemiddeld 35.743 brandweermensen gewond op de brandlocatie (Michael J. Karter & Molis, 2010). Het aantal dodelijke slachtoffers onder brandweermensen als gevolg van een hartstilstand of als gevolg van letsel dat zij opliepen toen zij zich buiten een gebouw bevonden, is afgenomen. Tegelijkertijd is het aantal dodelijke slachtoffers onder brandweermensen die zich in een gebouw bevonden de afgelopen 30 jaar blijven stijgen (Fahy, LeBlanc, & Molis, 2007). Verkeerde ventilatietechnieken worden als een belangrijke bijkomende oorzaak beschouwd voor het stijgend aantal

<sup>1</sup> Onderzoek naar de effectiviteit van verticale ventilatie en repressieve tactieken bij eengezinswoningen door de brandweer

<sup>2</sup> National Fire Protection Association

doden en gewonden onder brandweermensen.

Ventilatie is een veel gebruikte brandbestrijdingstactiek om branden te beheersen en te bestrijden. Onder ventilatie wordt bij brandbestrijding verstaan: het proces waarbij openingen worden gecreëerd om rook, hitte en giftige gassen af te voeren en te vervangen door frisse lucht. Als ventilatie goed wordt toegepast leidt het tot beter zicht en vermindert het het risico op flashover of backdraft. Als een grote brand niet goed wordt geventileerd, zal deze niet alleen veel moeilijker te bestrijden zijn, maar zal ook voldoende onvolledig verbrande rook worden opgebouwd om een backdraft of rookgasexplosie te veroorzaken, of genoeg hitte worden gegenereerd om flashover te creëren. Verkeerd gerichte of getimede ventilatie kan de luchttoevoer naar de brand vergroten waardoor de brand snel groeit en zich uitbreidt. Een verkeerde inzet van ventilatie kan ook de intensiteit van de brand vergroten en daarmee mogelijk de levens in gevaar brengen van de brandweermensen die zich tussen de brand en de ventilatieopening bevinden.

Er is voor zover bekend geen onderzoek gedaan om gegevens te verzamelen over dodelijke slachtoffers en gewonden als gevolg van ventilatie. Hieronder volgt een aantal voorbeelden van recente branden waarbij gewonden en dodelijke slachtoffers zijn gevallen en waarbij ventilatie een rol speelde.

1) Twee onderzoeksrapporten naar dodelijke slachtoffers van het NIOSH<sup>3</sup> 98-FO7 (NIOSH, Commercial Structure Fire Claims the Life of One Fire Fighter<sup>4</sup> - Californië, 1998) en F2004-14 (NIOSH, 2005) hadden betrekking op *“een offensieve binneninzet die niet gecoördineerd werd uitgevoerd met volledig en effectief ventileren”*, wat resulteerde in meerdere dodelijke slachtoffers onder brandweermensen.

2) *“Terwijl hij probeerde de omvang van de zolderbrand in te schatten viel een van de brandweermensen die op het dak aan het werk was door de verzwakte dakbedekking. Als gevolg van zijn val liep de brandweerman brandwonden op. Tijdens zijn val werden zijn ademluchttoestel en masker afgerukt door de dakspanten.”* (National Firefighter Near Miss Reporting System<sup>5</sup>, 2009)

3) Door onder andere een *“gebrek aan gecoördineerde ventilatie”* leidde de brand in een halfvrijstaand woonhuis op 29 februari 2008 tot de dood van een brandweerman en een bewoner. In de conclusie van het NIOSH-rapport staat: *“deze medebepalende factor (tactische ventilatie) duidt op een behoefte aan training over de invloed van tactische operaties (in het bijzonder ventilatie) op het brandgedrag”* (NIOSH, 2008).

4) In het NIOSH-onderzoeksrapport F2007-29 naar dodelijke slachtoffers wordt verslag gedaan van een brand in een woongebouw en wordt beschreven: *“...Horizontale en verticale ventilatie werd uitgevoerd en er werd gebruikgemaakt van een aangedreven overdrukventilator bij de voordeur, maar er werd maar weinig rook naar buiten gestoten. Een paar minuten later kwam er zware donkere rook door de voordeur naar buiten... Twee slachtoffers (brandweermensen) kwamen om als gevolg van rookvergiftiging en thermische verwondingen.”* (NIOSH, 2008)

5) De brand in Charleston, Zuid Carolina, van 18 juni 2008 was weliswaar geen woningbrand, maar mede door verkeerd gebruik van ventilatie vonden negen brandweermensen de dood. Het recente NIOSH-rapport over deze brand vermeldt: *“Een ventilatieopening die wordt gecreëerd tussen de brandweermensen of slachtoffers en hun route naar buiten kan fataal zijn als de brand zich daardoor naar hun locatie verplaatst, of hun weg naar buiten afsnijdt.”* (NIOSH, 2009)

<sup>3</sup> National Institute for Occupational Safety and Health - Amerikaans instituut voor veiligheid en gezondheid

<sup>4</sup> Brand in commercieel gebouw eist leven van brandweerman

<sup>5</sup> Nationaal meldingssysteem voor bijna-ongevallen van de brandweer

6) Een recente NIOSH-publicatie legt de stand van zaken vast: *“Als brandweerkorpsen niet de nodige fundamentele veranderingen aanbrengen in hun brandbestrijdingstactieken bij branden waar dakspanten een rol spelen, zullen er slachtoffers blijven vallen. Deze fundamentele veranderingen omvatten onder meer: ventileren van het dak met gebruikmaking van de juiste veiligheidsmaatregelen.”* (NIOSH, 2010)

Als een brand zich uitbreidt van het voorwerp van ontstaan naar andere voorwerpen in de ruimte waar de brand ontstond, dan kan een ventilatiebeheerste brand ontstaan afhankelijk van hoe goed het brandcompartiment (d.w.z. het huis) is afgesloten. In dit stadium worden de groei en kracht van de brand (warmteafgifte) beperkt door de beschikbare ventilatie. Als het compartiment goed is afgesloten, kan het vuur uiteindelijk vanzelf doven.

Als echter de ventilatie toeneemt, ofwel door een tactische inzet van de brandweer, ofwel ongepland door de effecten van de brand (bijvoorbeeld het bezwijken van een raam, plafond of dak), ofwel door menselijk ingrijpen (bijvoorbeeld door het openen van een deur), dan zal de warmteafgifte toenemen en mogelijk leiden tot door ventilatie veroorzaakte flashover-omstandigheden. Deze door ventilatie veroorzaakte brandcondities kunnen zich onverwacht snel voltrekken en geven brandweermensen daarom weinig tijd om te reageren.

Dat ventilatie bijdraagt aan het probleem is het gevolg van de veranderde dynamiek van woningbranden. Die verandering is het gevolg van veranderingen in de nieuwe, moderne constructie van woongebouwen, waaronder nieuwe bouwmaterialen, interieur, omvang en lay-out. Veel moderne woningen zijn groter dan oudere huizen die voor 1980 werden gebouwd. Nieuwere huizen hebben vaak een open indeling, met grote ruimten die bijdragen aan een snelle branduitbreiding. De uitdaging van een snelle branduitbreiding wordt nog versterkt door het gebruik van moderne bouwmaterialen, bouwmethoden en het moderne interieur. Stijgende energiekosten en de ontwikkelingen in “groen” gebouwtwerp hebben geresulteerd in belangrijke veranderingen in het ontwerp van zolderverdiepingen. Opkomende trends, zoals functioneel geïsoleerde zolderruimten, hebben geresulteerd in een verschuiving van traditionele glaswol tussen de vloerbalken van de zolder naar schuim dat tegen de onderkant van de dakbedekking wordt gespoten.

De gegevens uit bestaand experimenteel brandonderzoek werden gebruikt om het brandgedrag te laten zien dat het gevolg was van verschillende locaties voor horizontale ventilatieopeningen (deuren en ramen) in oudere, traditionele woongebouwen afgezet tegen moderne woongebouwen. Dit project breidt die kennis verder uit door het effect van verticale ventilatie door plafond/zolder/dak te onderzoeken. Naar aanleiding van de publicatie van het online trainingsprogramma van het vorige onderzoeksproject kwamen veel positieve reacties van brandweermensen binnen. Daarnaast werd UL gevraagd om ook in te gaan op verticale ventilatie en verder in te gaan op repressietactieken. Dit onderzoek gaat op die verzoeken in en op het gebrek aan beschikbare gegevens. De uiteindelijke gegevens zullen worden gebruikt om training en handvatten aan brandweermensen beschikbaar te stellen voor een juiste inzet van verticale ventilatie als brandbestrijdingstactiek, met als doel de risico's op (dodelijk) letsel bij brandweermensen als gevolg van een verkeerde inzet van ventilatie terug te dringen.

## **1.2. Afbakening**

Iedere brand waarvoor de brandweer uitrukt, is uniek en de grote verscheidenheid aan variabelen van een brandlocatie bij elke brand zorgt ervoor dat brandbestrijding complex is. In dit onderzoek werden de belangrijkste variabelen geïdentificeerd en begrensd om onder gecontroleerde omstandigheden de gegevens te verzamelen. Deze variabelen omvatten onder meer de lay-out van een huis, de vuurlast, de aankomsttijd van de brandweer, tactische keuzes, stroomsnelheid van de brandslangen en de ventilatielocaties. Door deze variabelen te begrenzen en de testcondities tijdens de brandweerinzet te controleren, werd het effect van de inzet van verticale ventilatie en brandbestrijdingstactieken op de dynamiek en omstandigheden van de brand

in twee soorten eengezinswoningen onderzocht. De uitkomsten maken het mogelijk een wetenschappelijke basis vast te stellen die kan worden gebruikt voor andere typen bouwwerken dan eengezinswoningen, ruimten die andere afmetingen hebben, een andere vuurlast hebben, verschillen van lay-out, met anders getimede brandweerinzet, etc.

Het doel van dit onderzoek is niet om vast te stellen of verticale ventilatie of een repressieve buiteninzet effectiever is. Het doel is om de kennis van brandweerkorpsen te vergroten over de impact van deze tactieken onder specifieke omstandigheden. Omdat niet alle omstandigheden van een brandlocatie kunnen worden geanalyseerd, is het de verwachting dat de verkregen gegevens en deze analyse voor de brandweer een aanvulling zullen zijn op hun eerdere observaties en ervaringen.

Dit onderzoek houdt zich niet bezig met de veiligheid van de fysieke uitvoering van verticaal ventileren. Zoals in eerdere UL-onderzoeken is aangetoond, vatten houten dakconstructies vlam en stortten in, zodat een inzet op een dak dat in brand staat een gevaarlijke operatie is die alleen moet worden uitgevoerd na een risico/batenanalyse door de brandweermensen. Er zijn veel brandweermensen omgekomen omdat een dakconstructie instortte terwijl ze bezig waren met verticaal ventileren. De informatie uit dit rapport kan worden opgenomen in de overwegingen van brandweerkorpsen bij het verkennen, zodat verticale ventilatie optimaal wordt gebruikt wanneer eenmaal is vastgesteld dat het een geschikte tactiek is.

De branden uit dit onderzoek – waarbij verticale ventilatie werd toegepast – waren branden waarbij het interieur van een leefruimte van een woning brandde. Het waren geen branden van de gebouwconstructie met branduitbreiding naar de zolderruimte. Deze experimenten waren ook bedoeld om de eerste brandweerinzet te simuleren door een tankautospuiter of een tankautospuiter en een ladderwagen die direct na elkaar arriveren binnen ongeveer de landelijk gemiddelde aanrijtijd. Er zijn aanvullende experimenten uitgevoerd om een begin te maken met het onderzoeken van het verticaal ventileren bij zolderbranden. Hierover zal apart worden gerapporteerd.

## 2. Technisch projectteam

Er werd een technisch team samengesteld van brandweer- en onderzoeksexperts op basis van hun eerdere ervaring met onderzoeksprojecten, met ventilatie in de praktijk, wetenschappelijke kennis, praktische kennis en spreiding binnen de brandweer. Ze leverden een waardevolle bijdrage aan alle aspecten van dit project, zoals aan de onderzoeksopzet en de identificatie van tactische overwegingen. Door de samenstelling van het technische team zijn de wetenschappelijke uitkomsten relevant en toepasbaar voor alle functieniveaus binnen de brandweer. Het technische team bestond uit:

- Josh Blum, Deputy Chief, Loveland – Symmes (Ohio) Fire Department
- John Ceriello, Lieutenant, Fire Department of New York
- James Dalton, onderzoekscoördinator, Chicago Fire Department
- Ed Hadfield, Division Chief, City of Coronado (Californië) Fire Department
- Todd Harms, Assistant Chief, Phoenix Fire Department
- Ed Hartin, Chief, Central Whidbey Island Fire Rescue Department
- George Healy, Battalion Chief, Fire Department of New York
- Otto Huber, Fire Chief, Loveland – Symmes (OH) Fire Department
- Dan Madrzykowski, brandbeveiligingsingenieur, National Institute of Standards and Technology
- Mark Nolan, Fire Chief, City of Northbrook (Illinois)
- David Rhodes, Battalion Chief, Atlanta Fire Department

- David Rickert, Firefighter, Milwaukee Fire Department
- Andy Rick, Firefighter, Lake Forest (Illinois) Fire Department
- Pete Van Dorpe, Chief of Training, Chicago Fire Department
- Sean DeCrane, Battalion Chief, Cleveland Fire Department
- Bobby Halton, redacteur, Fire Engineering Magazine
- Harvey Eisner, redacteur, Firehouse Magazine
- Tim Sendelbach, redacteur, Fire Rescue Magazine

### 3. Experimenten met huizen op ware grootte

Het technische projectteam ontwierp een reeks van 17 experimenten om diverse scenario's te onderzoeken. Deze scenario's waren geïdentificeerd als hiaten in de huidige brandweerkennis over dynamiek van de brand, ventilatie en repressie. Deze hiaten betroffen onder meer:

- invloed van het gecontroleerd bedienen van deur;
- invloed van de grootte van de ventilatieopening bij verticaal ventileren;
- invloed van de plaats van de ventilatieopening bij verticaal ventileren;
- invloed van verschillende stromingspaden tussen de brandlocatie en de ventilatielocatie;
- invloed van moderne en ouderwetse/traditionele vuurlasten in een gebouw;
- invloed van een offensieve buiteninzet bij verschillende configuraties van stromingspaden.

Er werden twee huizen gebouwd om deze hiaten in de kennis over de inzet van verticaal ventileren te onderzoeken, evenals de blusmethoden en de invloed van veranderingen in de indeling en het interieur van moderne huizen. Deze huizen werden gebouwd op de grote testlocatie voor brand van Underwriters Laboratories in Northbrook, Illinois. Er werden 17 experimenten uitgevoerd waarbij de ventilatielocatie, de ontstekingslocatie van de brand en de timing van de ventilatieopeningen werden gevarieerd (tabel 3.1 en tabel 3.2).

De ventilatiescenario's omvatten onder meer: het ventileren via de voordeur en een raam in de buurt van de brandhaard om een verband te leggen tussen deze experimenten en eerdere experimenten met horizontale ventilatie; het openen van de voordeur en een ventilatieopening boven de brandhaard en iets verder van de brandhaard verwijderd; en het openen van voordeur en het maken van een grote opening boven de brand. De repressiescenario's omvatten onder meer: het ontsteken van het vuur in de keuken, het openen van de voordeur en aanbrengen van water in de keuken, met het raam van de eetkamer gesloten en open. Een ander repressie-experiment bestond uit het ontsteken van het vuur in de woonkamer, het creëren van een stromingspad vanaf de voordeur door slaapkamer 1 en het aanbrengen van water door de voordeur. Bij een laatste scenario in het huis van één verdieping (hierna ook: bungalow) werd onderzoek gedaan naar het openen van de voordeur en het raam in de woonkamer, terwijl de woonkamer was gemeubileerd en gestoffeerd met ouderwetse/traditionele brandstoffen. Hierna volgt een gedetailleerde beschrijving van de gebouwconstructies, instrumentatie, vuurlast en uitkomsten.

**Tabel 3.1: Details experimenten huis van één verdieping (bungalow)**

Experiment #	Gebouw	Plaats van ontsteking	Ventilatieparameters
1	1 verdieping	Woonkamer	Voordeur + raam woonkamer
3	1 verdieping	Woonkamer	Voordeur gedeeltelijk open + dak (4 voet bij 4 voet) <sup>6</sup>
5	1 verdieping	Woonkamer	Voordeur + dak (4 voet x 4 voet) <sup>7</sup>
7	1 verdieping	Woonkamer	Voordeur + dak (4 voet bij 8 voet) <sup>8</sup>
9	1 verdieping	Slaapkamer 1	Voordeur + dak (4 voet bij 4 voet) <sup>9</sup> + raam slaapkamer 1
11	1 verdieping	Slaapkamer 1	Raam slaapkamer 1 + voordeur + dak (4 voet bij 4 voet) <sup>10</sup>
13	1 verdieping	Keuken	Voordeur + raam eetkamer
15	1 verdieping	Woonkamer	Woonkamer + raam slaapkamer 1
17	1 verdieping	Woonkamer	Voordeur + raam woonkamer

**Tabel 3.2: Details experimenten huis van twee verdiepingen**

Experiment #	Gebouw	Plaats van ontsteking	Ventilatieparameters
2	2 verdiepingen	Televisiekamer	Voordeur + raam televisiekamer
4	2 verdiepingen	Televisiekamer	Voordeur gedeeltelijk open + dak (4 voet bij 4 voet) <sup>11</sup>
6	2 verdiepingen	Televisiekamer	Voordeur + dak (4 voet bij 4 voet) <sup>12</sup>
8	2 verdiepingen	Televisiekamer	Voordeur + dak (4 voet bij 8 voet) <sup>13</sup>
10	2 verdiepingen	Slaapkamer 3	Voordeur + dak (4 voet bij 4 voet) <sup>14</sup> + raam slaapkamer 3
12	2 verdiepingen	Televisiekamer	Raam televisiekamer + voordeur + dak (4 voet bij 4 voet) <sup>15</sup>
14	2 verdiepingen	Slaapkamer 3	Raam slaapkamer 3 + voordeur + dak (4 voet bij 4 voet) <sup>16</sup>
16	2 verdiepingen	Keuken	Raam televisiekamer (dichter bij de keuken) + raam slaapkamer 3

<sup>6</sup> 1,22 meter bij 1,22 meter<sup>7</sup> 1,22 meter bij 1,22 meter<sup>8</sup> 1,22 meter bij 2,44 meter<sup>9</sup> 1,22 meter bij 1,22 meter<sup>10</sup> 1,22 meter bij 1,22 meter<sup>11</sup> 1,22 meter bij 1,22 meter<sup>12</sup> 1,22 meter bij 1,22 meter<sup>13</sup> 1,22 meter bij 2,44 meter<sup>14</sup> 1,22 meter bij 1,22 meter<sup>15</sup> 1,22 meter bij 1,22 meter<sup>16</sup> 1,22 meter bij 1,22 meter



### 3.1. Gebouw van één verdieping

Zeven van de zeventien experimenten werden uitgevoerd in het huis van één verdieping (bungalow). De constructie werd ontworpen door een architectenbureau gespecialiseerd in woonhuizen, zodat deze representatief zou zijn voor een huis zoals dat werd gebouwd in het midden van de 20e eeuw met muren en deuren tussen alle ruimtes en met plafonds van een hoogte van 8 voet<sup>17</sup>. De experimenten zijn erop gericht de dynamiek van de brand te onderzoeken in een gebouw van dit type en meer inzicht te krijgen in de invloed van verschillende soorten ventilatie op de integriteit van alle constructieonderdelen.

Het huis van één verdieping (bungalow) had een oppervlakte van 1.200 vierkante voet<sup>18</sup> met 3 slaapkamers, 1 badkamer en 8 kamers in totaal (figuur 3.1 tot en met figuur 3.4). Het huis had een houten skelet, type 5<sup>19</sup> met twee lagen gipsplaat (onderlaag 5/8 inch, afdeklaag 1/2 inch)<sup>20</sup>. Het dak bestond uit een kapegebint van metaal en was bedekt met cementgebonden platen van 1/2 inch<sup>21</sup> om volume toe te voegen en een zolderruimte te creëren. Boven de woonkamer werd een ventilatiesysteem in het dak gemaakt zodat het mogelijk zou zijn om vanaf afstand het dak te ventileren. Ventilatieopeningen met scharnieren konden worden opengezet om te simuleren dat het dak “werd opengetrokken” en er kon een deel van het plafond worden verwijderd om te simuleren dat het plafond van boven werd “ingeduwd”. De voor- en achterzijde van het gebouw waren bedekt met cementgebonden platen om branduitbreiding naar buiten te beperken. Figuur 3.5 bevat een 3D-weergave van het huis, waarbij het dak is weggesneden zodat de indeling van het huis zichtbaar is, inclusief meubilair en vloerbedekking. Waar de vloer ingekleurd is, lag tapijt en waar de vloer grijs is, ging het om een cementvloer of tegels.



**Figuur 3.1: Voorzijde bungalow**



**Figuur 3.2: Dak bungalow**

<sup>17</sup> 2,44 meter

<sup>18</sup> 111,48 vierkante meter

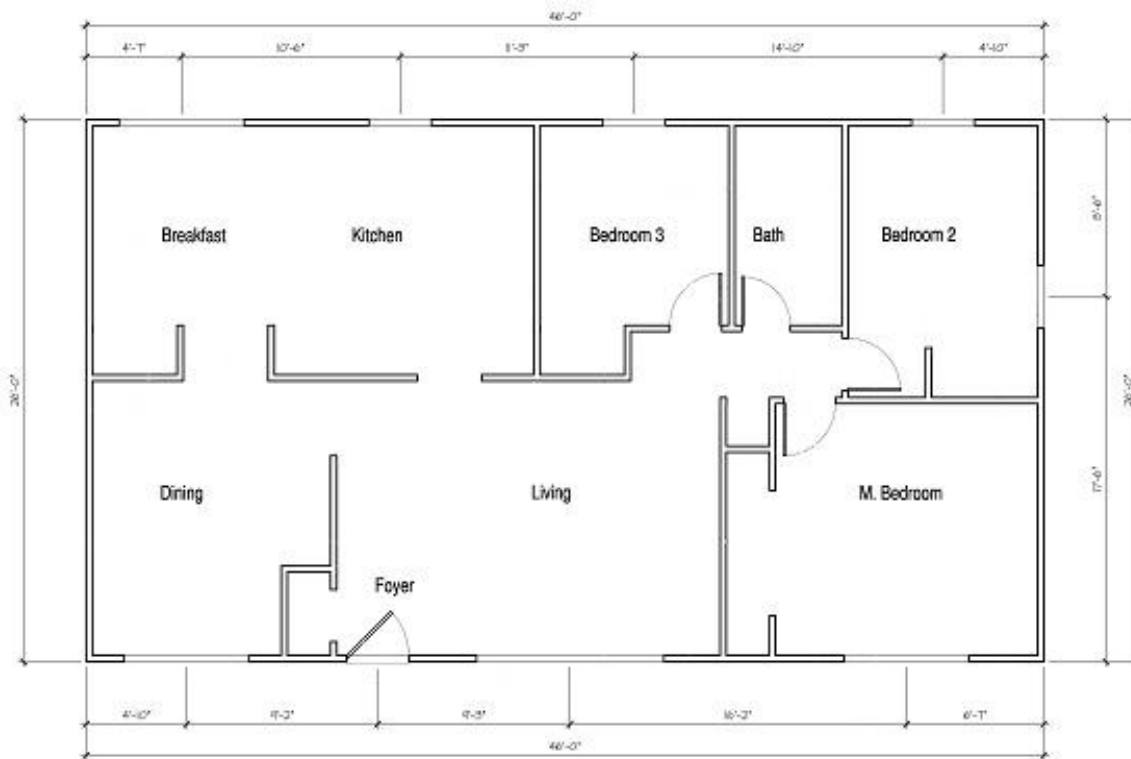
<sup>19</sup> Type 5: houten skelet. Een type 5 constructie wordt in veel moderne Amerikaanse huizen gebruikt. De wanden en daken zijn gemaakt van brandbaar materiaal – meestal van hout. Als de muren een houten skelet hebben, heeft het dak dat meestal ook. De dakbedekking bestaat uit keramische dakpannen of bitumen dakspanen op lichtgewicht dakspanen en OSB-platen.

<sup>20</sup> onderlaag 1,59 cm, afdeklaag 1,27 cm

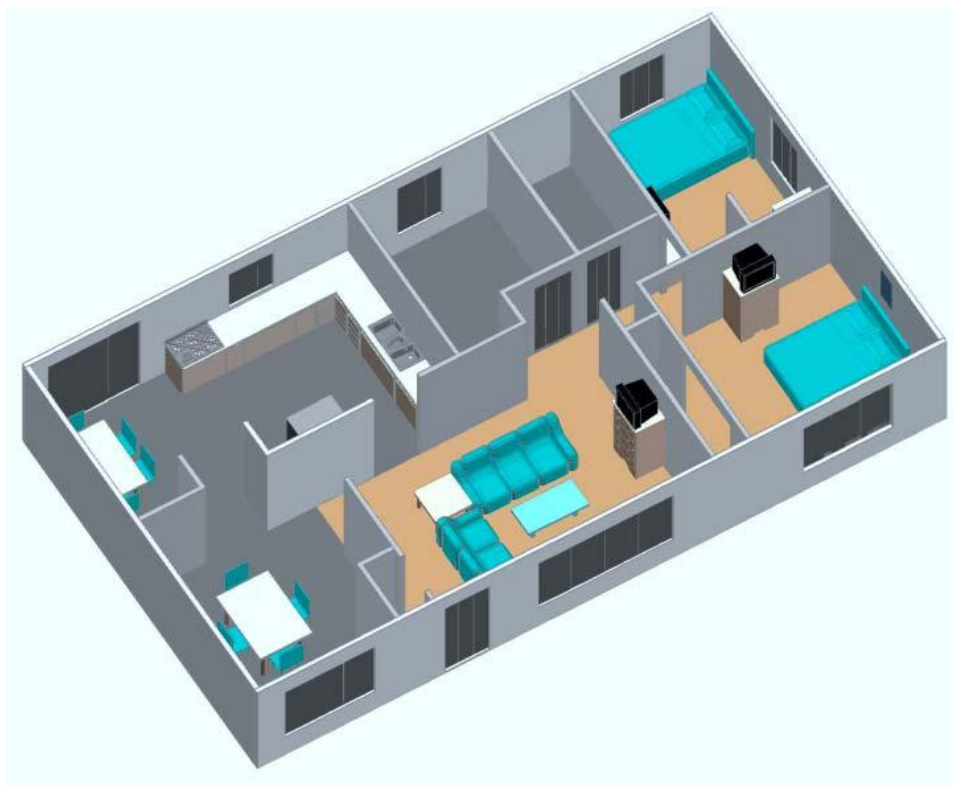
<sup>21</sup> 1,27 cm



**Figuur 3.3: Achterzijde bungalow**



**Figuur 3.4: Plattegrond bungalow**



**Figuur 3.5: 3D-weergave van de bungalow vanaf de voorzijde**

### **3.2. Gebouw van twee verdiepingen**

Het huis van twee verdiepingen had een oppervlakte van 3.200 vierkante voet<sup>22</sup>, met 4 slaapkamers, 2,5 badkamer en 12 kamers in totaal (Figuur 3.6 tot en met figuur 3.12). Dit huis had ook een houten skelet, type 5 constructie<sup>23</sup> met twee lagen gipsplaat (onderlaag 5/8 inch, afdeklaag 1/2 inch)<sup>24</sup>. Het dak bestond uit een constructie van I-balken die niet bekleed waren, omdat het hier ging om brand in het interieur en niet om brand van de gebouwconstructie zelf. Boven de televisiekamer werd een ventilatiesysteem in het dak gemaakt zodat het mogelijk zou zijn om vanaf afstand het dak te ventileren. Gescharnierde delen van het dak konden worden geopend om te simuleren dat het dak werd opengesneden. Er bevond zich in dit deel van het huis geen tussenvloer/plafond dat “ingeduwd” kon worden, maar een zogenaamde vide. De grote kamer loopt door tot aan het dak en er zit dus geen holle ruimte tussen deze kamer en het dak. De voor- en achterzijde van het gebouw waren bedekt met cementgebonden platen om de branduitbreiding naar buiten te beperken.

<sup>22</sup> 297,29 vierkante meter

<sup>23</sup> Type 5: houten skelet. Een type 5 constructie wordt in veel moderne Amerikaanse huizen gebruikt. De wanden en daken zijn gemaakt van brandbaar materiaal – meestal van hout. Als de muren een houten skelet hebben, heeft het dak dat meestal ook. De dakbedekking bestaat uit keramische dakpannen of bitumen dakspanen op lichtgewicht dakspanen en OSB-platen.

<sup>24</sup> onderlaag 1,59 cm, afdeklaag 1,27 cm



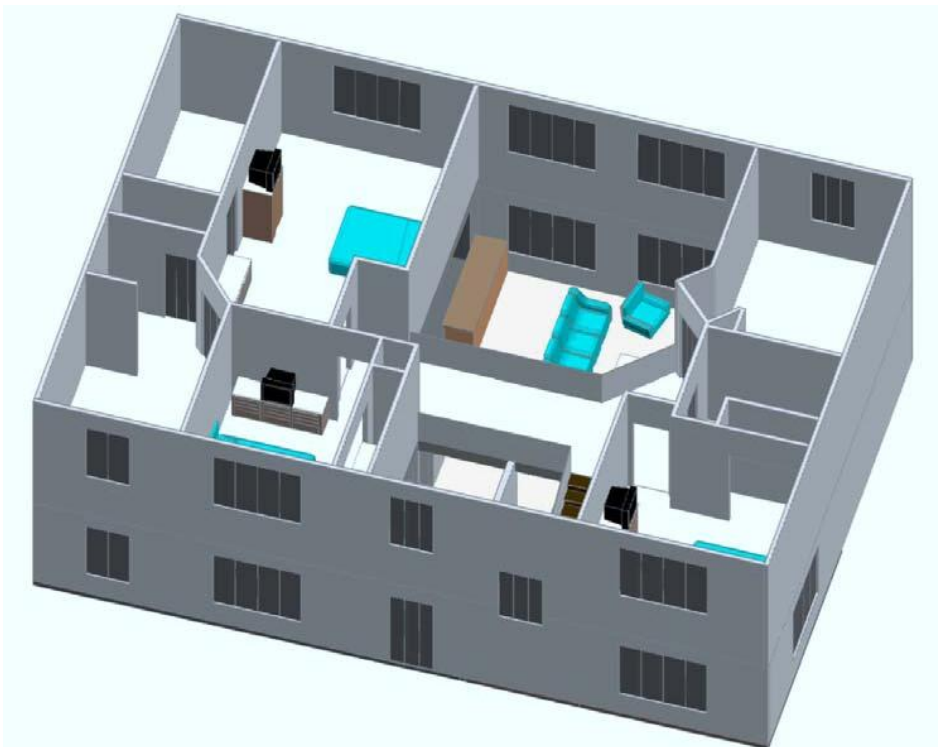
**Figuur 3.6: Voorzijde huis van twee verdiepingen**



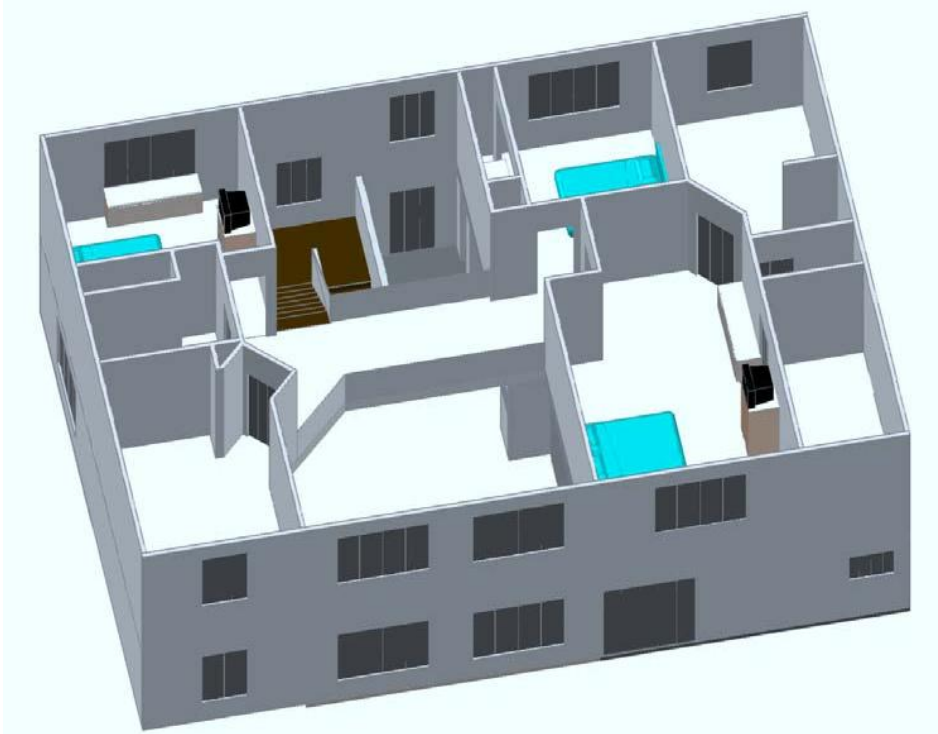
**Figuur 3.7: Achterzijde huis van twee verdiepingen**



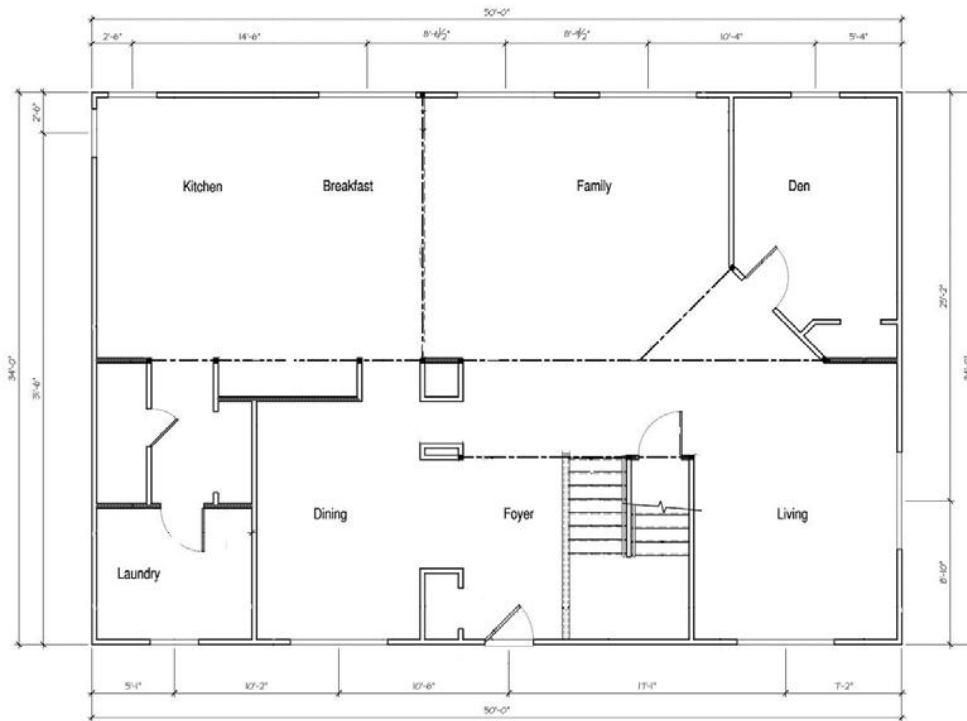
**Figuur 3.8: Dak huis van twee verdiepingen**



**Figuur 3.9: 3D-weergave van het huis van 2 verdiepingen vanaf de voorzijde**

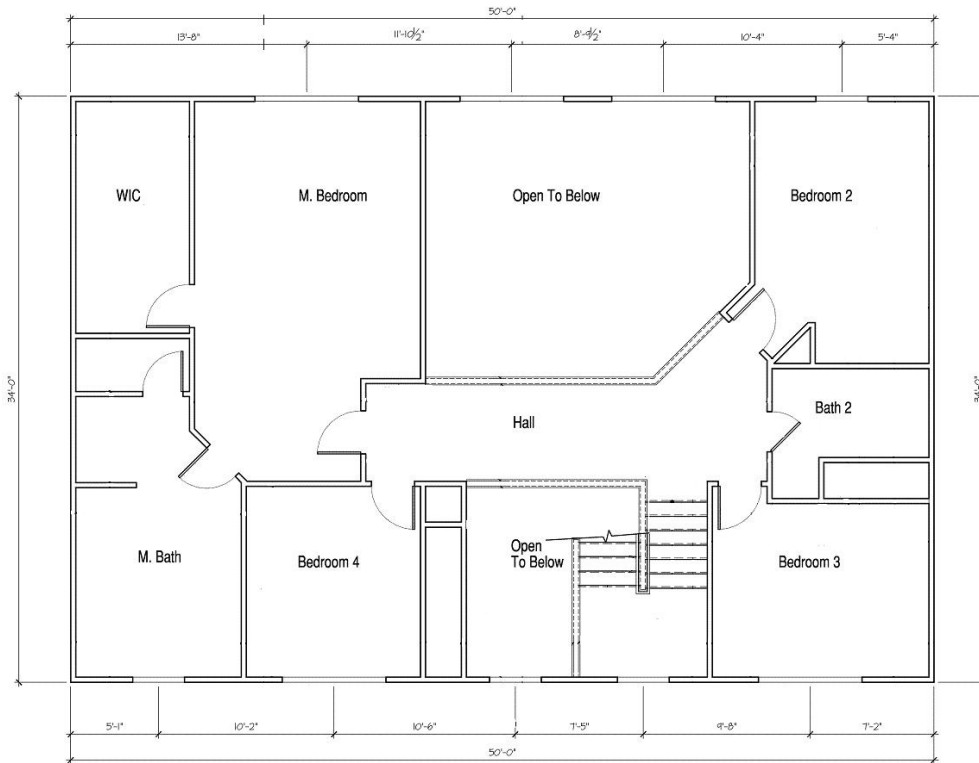


**Figuur 3.10: 3D-weergave van het huis van 2 verdiepingen vanaf de achterzijde**



**Figuur 3.11: Plattegrond begane grond huis van twee verdiepingen**





**Figuur 3.12: Plattegrond eerste verdieping huis van twee verdiepingen**

### 3.3. Onderzoeksmethodiek

Alle experimenten begonnen met de buitendeuren en ramen gesloten, de ventilatieopeningen in het dak gesloten, en alle binnendeuren in dezelfde positie (d.w.z. of open, of gesloten). Het vuur werd aangestoken met een op afstand bedienbaar ontstekingsmechanisme bestaande uit vijf lucifershoutjes (figuur 3.13) en een elektrisch geladen dunne draad om de luciferskoppen te verwarmen en een kleine ontstekingsbron te creëren. In figuur 3.14 tot en met figuur 3.16 zijn de ontstekingslocaties aangegeven.



**Figuur 3.13: Ontstekingsmechanisme met lucifers**



**Figuur 3.14: Ontstekingslocatie woonkamer bungalow**



**Figuur 3.15: Ontstekingslocatie televisiekamer huis van twee verdiepingen**



**Figuur 3.16: Ontstekingslocatie slaapkamer**

Het vlammeende vuur mocht blijven groeien totdat de ventilatie-inzet werd gestart door openingen te maken. Het huis van één verdieping werd 8 minuten na de ontsteking geventileerd. Dit werd bepaald aan de hand van twee factoren: de tijd tot ventilatiebeheerste omstandigheden in het huis zijn bereikt en de mogelijke opkomst- en inzettijd van de brandweer. Het ventilatietijdstip voor het huis van twee verdiepingen was 10 minuten om dezelfde redenen als bij het huis van één verdieping. Door de extra tijd konden ook hier ventilatiebeheerste omstandigheden ontstaan. De brandstofsamenstelling was hetzelfde voor het huis van twee verdiepingen met een plafondhoogte van 17 voet<sup>25</sup> en een open indeling, als voor de bungalow met een plafondhoogte van 8 voet<sup>26</sup> waar de ruimte in compartimenten was opgedeeld. Het duurde in het huis van twee verdiepingen daarom langer om het punt van ventilatiebeheerste brand te bereiken.

De ventilatiescenario's omvatten onder meer het ventileren via de voordeur en een raam in de buurt van de brandhaard – om een verband te leggen tussen deze experimenten en eerdere experimenten met horizontale ventilatie; het openen van de voordeur en een ventilatieopening boven de brandhaard en verder verwijderd van de brandhaard; en het openen van voordeur en het maken van een grote opening boven de brand. De repressiescenario's omvatten onder meer het ontsteken van het vuur in de keuken, het openen van de voordeur en water in de keuken aanbrengen, met de het raam van de eetkamer gesloten en open. Een ander repressie-experiment bestond uit het ontsteken van het vuur in de woonkamer, creëren van een stromingspad van de voordeur door slaapkamer 1 en het aanbrengen van water door de voordeur. Bij een laatste scenario in het huis van één verdieping werd onderzoek gedaan naar het openen van de voordeur en het raam in de woonkamer terwijl de woonkamer was gemeubileerd en gestoffeerd met ouderwetse/traditionele brandstoffen.

In de praktijk wordt verticale en horizontale ventilatie meestal in een verschillend tijdsbestek uitgevoerd. Er zit een duidelijk verschil tussen ventileren door met gereedschap een opening te maken in een raam op de begane grond, en ventileren door op het dak klimmen en een ventilatieopening in het dakmembraan te maken. Daarom werd het tijdstip voor verticale ventilatie bepaald aan de hand van de omstandigheden binnen in het huis en niet aan de hand van een bepaald tijdsverloop. De meest gekozen criteria waren een temperatuur van 400 °F op een hoogte van 3 voet<sup>27</sup> in het gebied waar de brandweerploeg aan het werk kon zijn. Deze aanpak kan worden

<sup>25</sup> 5,18 meter

<sup>26</sup> 2,44 meter

<sup>27</sup> 204,44°C op 0,91 meter

verantwoord door het feit dat de ploeg die in dat gebied actief was, een verzoek kon doen voor een verticale ventilatie-inzet om de omstandigheden in het gebied waar zij opereerden te verbeteren. De timing van het maken van deze openingen zal per experiment worden uitgelegd en onderzocht in het bespreekgedeelte van dit rapport.

Na het ventileren werd niet direct ingegrepen, maar mocht de brand doorgroeien tot flashover of tot de vermeende maximale verbrandingssnelheid zich voordeed. Dit werd gebaseerd op de temperaturen, het observeren van externe omstandigheden en het monitoren van de interne video. Wanneer de brand gedurende een bepaalde periode een piek vertoonde in relatie tot de vaststaande integriteit van de wandbekleding (voorafgaand aan de overgang van een interieurbrand naar een constructiebrand) werd door een externe opening een straal ingezet.

Onderdeel van ieder experiment was dat gedurende ongeveer 15 seconden een waterstraal in een ventilatieopening werd gericht. Er werd een slang gebruikt van 1 ¾ inch<sup>28</sup> met een combinatiemondstuk met ongeveer 100 psi<sup>29</sup> mondstukdruk, waardoor een straal van 100 gallon per minuut<sup>30</sup> ontstaat. Bij de experimenten werden twee soorten stralen gebruikt: een gebonden straal en een nevelstraal. Tijdens de inzet van de gebonden straal werd het mondstuk in de stand voor een gebonden straal gezet en in het gebouw gericht met de aanwijzing dat water moest worden aangebracht op wat er brandde; het mondstuk werd dus niet op een vast punt gericht. Tijdens de inzet van de nevelstraal werd het mondstuk zo ingesteld dat er een nevelpatroon van ongeveer 30 graden werd gecreëerd. Deze straal werd ook in het gebouw gericht met de bedoeling het zichtbare vuur te doven zonder het mondstuk in een vaste positie te houden.

Het debiet van het mondstuk was 100 gallon per minuut<sup>31</sup>. Door 15 seconden te blussen werd ongeveer 25 gallon<sup>32</sup> water door de opening in het huis gebracht. Het doel van deze straal was niet om brandweermensen in staat te stellen het gebouw binnen te gaan en het vuur te doven, maar om het vuur zo veel mogelijk te onderdrukken en de omstandigheden in de omliggende kamers te observeren. Dit is van invloed op de tactische overwegingen zoals later in dit rapport wordt besproken. Hierdoor is de brandweerploeg in staat de brand te vertragen, of het doel te verzwakken, voorafgaand aan het binnentreden. Hierdoor komen zij dus in een veiliger omgeving binnen. Ten minste één minuut na de inzet van de straal werd het experiment beëindigd en werd het blussen afgerond door de brandweerploeg.

## 4. Tactische overwegingen

In dit hoofdstuk worden de resultaten van alle experimenten besproken om verbanden te leggen naar tactiek op de brandlocatie omdat dit van invloed kan zijn op de veiligheid van het brandweerpersoneel. Het technische projectteam heeft de onderwerpen die in dit hoofdstuk worden onderzocht, aangewezen.

De toepassing op de brandlocatie van de uitkomsten zoals besproken in dit hoofdstuk, hangt van verschillende factoren af, zoals: (i) de bouwconstructie (ii) capaciteiten en hulpmiddelen van de

---

<sup>28</sup> 44 mm

<sup>29</sup> 100 Engelse pond per vierkante inch = 6,89 bar

<sup>30</sup> 378,54 liter per minuut

<sup>31</sup> 378,54 liter per minuut

<sup>32</sup> 94,64 liter



als eerste opkomende brandweerploeg; en (iii) beschikbaarheid van wederzijdse hulp. Daarnaast moeten de tactische overwegingen die hier worden gegeven, worden beschouwd als ideeën voor de opkomende brandweermensen: zij moeten die ideeën op de plaats van de brand naar waarde schatten.

#### 4.1. Modern versus ouderwets/traditioneel brandverloop

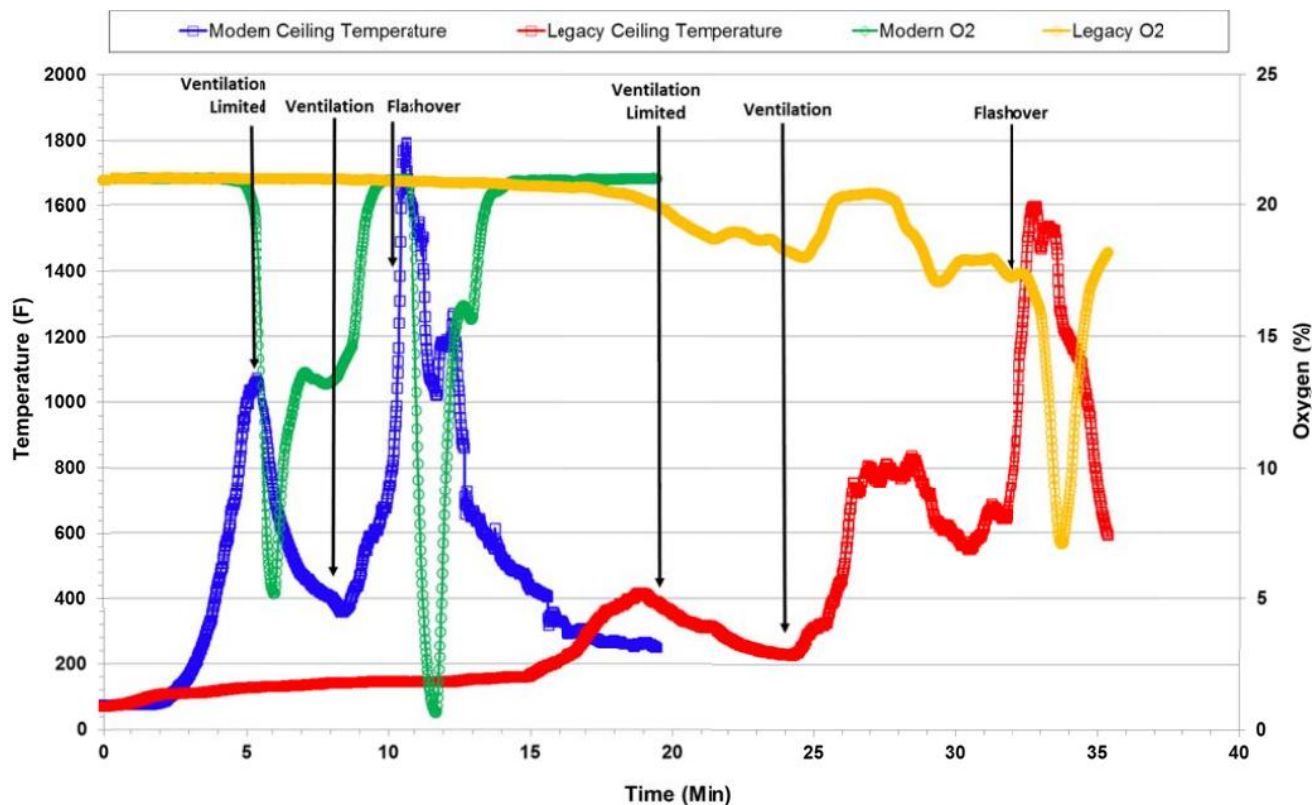
Nu steeds meer woninginrichting is gemaakt van synthetische materialen, is de mate van warmteafgifte van meubilair aanzienlijk toegenomen. Door deze veranderingen verlopen de verschillende stadia van het brandverloop sneller, waarmee ook de kans groter is dat er ventilatiebeheerste brandcondities ontstaan voordat de brandweer ter plaatse is.

Het werkterrein van de brandweer is veranderd en één van de vele belangrijke factoren is de woninginrichting. Omdat de woninginrichting in de afgelopen tientallen jaren steeds meer uit synthetische materialen is gaan bestaan, is de warmteafgifte van woninginrichting in belangrijke mate toegenomen. Door deze veranderingen verlopen de verschillende stadia van het brandverloop sneller, waarmee ook de kans groter is dat er ventilatiebeheerste brandcondities ontstaan voordat de brandweer ter plaatse is. Als ventilatiebeheerste brandcondities eerder ontstaan, dan zijn de ventilatietactieken van de brandweer van uitermate groot belang. Figuur 4.1 toont de vele verschillen tussen hoe branden tegenwoordig verlopen ten opzichte van branden tientallen jaren geleden. De hoogste temperaturen die worden bereikt voordat het stadium ventilatiebeheerst wordt bereikt, zijn heel verschillend: 1.100 °F<sup>33</sup> bij een moderne brand vergeleken met 450 °F<sup>34</sup> bij een ouderwetse brand. De minimum zuurstofconcentratie voorafgaand aan ventileren door de brandweer was 5% bij een moderne brand, vergeleken met 18% bij een ouderwetse brand. Meest belangrijk is echter dat de tijd tussen ventilatie en flashover 2 minuten bedraagt bij een moderne brand en meer dan 8 minuten bij een traditionele brand. Een ouderwetse brand kan worden beschreven als vergevingsgezind daar waar het gaat om ventilatie. Voorafgaand aan flashover kan slecht getimed ventilatie of een ongecoördineerde inzet worden gecorrigeerd omdat daarvoor 8 minuten beschikbaar zijn. Bij een moderne brand bedraagt de tijd voor correctie slechts 2 minuten, of 25% van de tijd die men vroeger had. Dit ondersteunt het adagium: “U bestrijdt niet langer uw grootvaders brand.”

---

<sup>33</sup> 593,33 °C

<sup>34</sup> 232,22 °C



Figuur 4.1: Moderne versus ouderwetse temperaturen en vergelijking van de zuurstofconcentratie

## 4.2. Gecontroleerd bedienen van de toegangsdeur

Als u om toegang te krijgen een deur moeten openen, dan beperkt u het vermogen van de brand om te groeien als u de hoeveelheid lucht die naar binnenstroomt beperkt. De experimenten in het vorige UL-onderzoek naar horizontale ventilatie lieten zien dat het openen van de voordeur niet alleen moet worden beschouwd als het creëren van een toegangspunt, maar ook moet worden beschouwd als ventilatie. Deze noodzakelijke tactiek moet ook worden gecoördineerd met de overige inzetten op de brandlocatie. Een relatief simpele handeling als het weer sluiten van de voordeur nadat de toegang is geforceerd, beperkt de luchttoevoer naar het vuur en vertraagt de potentieel snelle branduitbreiding totdat een toegang kan worden gemaakt als onderdeel van een gecoördineerde inzet. In deze experimenten werden dezelfde uitkomsten waargenomen en twee van de experimenten werden speciaal opgezet om nog een stap verder te kunnen gaan.

In beide huizen werd een experiment gedaan waarbij het gecontroleerd bedienen van de deur werd gesimuleerd. Eerst werd de voordeur helemaal geopend om de (fictieve) brandweerploeg toegang te verschaffen. Daarna werd de deur gecontroleerd bediend door de deur dicht te trekken tot de dikte van een brandslang die recht door de deur werd geleid (figuur 4.2). Dit simuleerde de aanwezigheid van een controlerend persoon bij de deur, die de slang doorgaf en de deur zo ver mogelijk dicht houdt, zonder dat het doorgeven van de slang wordt belemmerd. De temperatuur op kruiphoogte in de brandruimte van beide huizen is weergegeven in figuur 4.3 en figuur 4.4. Deze grafieken laten zien dat bij het gecontroleerd bedienen van de deur de temperaturen lager blijven dan bij het volledig openen van de deur. Temperaturen worden weergegeven vanaf het moment dat de deur wordt geopend tot net voordat de ventilatieopening in het dak werd geopend; het enige effect op de temperatuur was afkomstig van de voordeur.

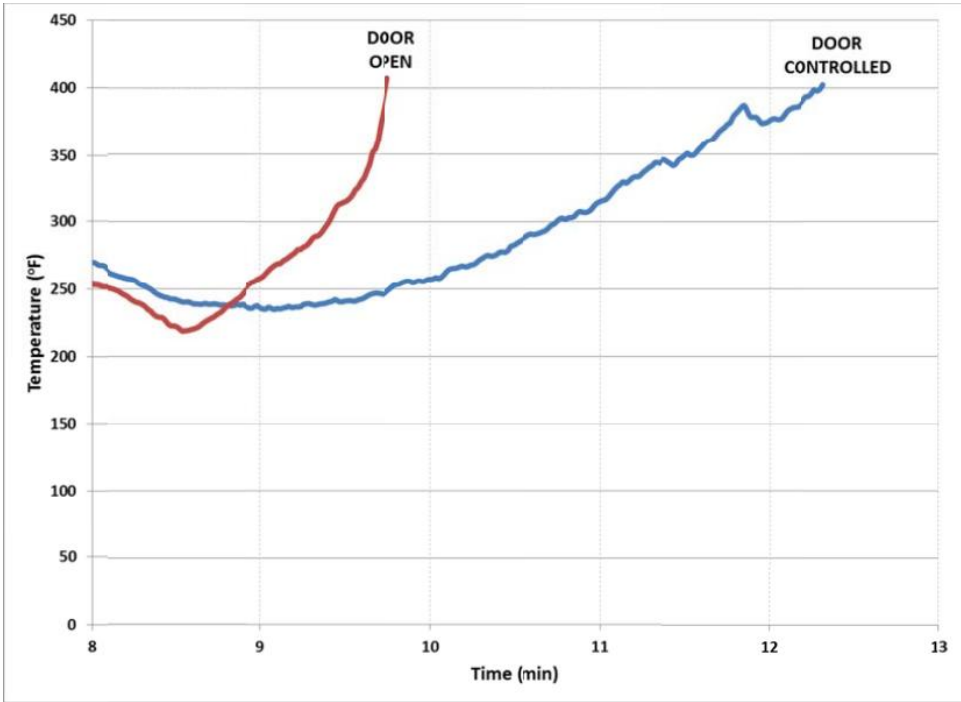
De dynamiek van brand bij gecontroleerde deurbediening is vrij eenvoudig. Als sprake is van een ventilatiebeheerste brand en u beperkt de luchttoevoer, dan beperkt u ook de hoeveelheid warmte die vrij kan komen. Hoewel hiermee de zuurstoftoevoer niet volledig wordt afgesloten, wordt de toevoer wel vertraagd, waardoor ook de branduitbreiding trager wordt. Hoe verder de deur gesloten is, des te minder de brand kan groeien. Hoe minder de brand groeit, des te minder water er nodig is om de brand meester te worden en te doven. Deuren zijn vrijwel altijd de meest efficiënte luchtinlaten omdat ze tot aan de grond lopen, in tegenstelling tot ramen. Aan de onderkant van de deuropening wordt lucht mee naar binnen gevoerd, terwijl de verbrandingsproducten langs de bovenkant van de deuropening naar buiten kunnen stromen: hierdoor wordt door dezelfde deuropening een volledig stromingspad gecreëerd.

Tactisch gezien zijn er verschillende overwegingen voor gecontroleerde deurbediening. De meest belangrijke is dat het een tijdelijke handeling is. De deur moet gecontroleerd worden bediend totdat water op het vuur wordt gebracht. Zodra er water op het vuur wordt gebracht en de aanvalsploeg de overhand krijgt – dat wil zeggen dat er meer energie wordt opgenomen door het water dan dat de brand genereert – kan de deur worden geopend. Op dat moment is niet langer sprake van een ventilatiebeheerste brand, dus door te ventileren kunnen meer hete gassen en rook naar buiten stromen dan door het vuur worden gegenereerd. Als het mogelijk is om snel water op het vuur te brengen, dan is deze tactiek niet nodig. Gecontroleerde deurbediening wordt niet alleen uitgevoerd met de voordeur of met een brandslang. Tijdens het doorzoeken van een gebouw kunnen ook binnendeuren gecontroleerd worden bediend, terwijl de brandweerploegen proberen de brand te lokaliseren en onder controle te krijgen, of slachtoffers proberen te vinden. Iedere deur waardoor lucht naar het vuur kan worden geleid, moet gecontroleerd worden bediend totdat er water op het vuur wordt gebracht of totdat duidelijk is dat de brand beperkt is tot een bepaalde ruimte. Als het risico bestaat dat een deur dichtvalt en een ploeg binnensluit, dan kan er gereedschap in de deuropening worden geplaatst om te voorkomen dat een deur dichtvalt en op slot raakt.

Als het risico bestaat dat een toegangsdeur niet opnieuw kan worden geopend nadat de ploeg naar binnen is gegaan, dan mag die deur niet gecontroleerd worden bediend, maar moet de mogelijke invloed van de instromende lucht worden meegewogen bij de operatie. Een van de gevaarlijkste plaatsen waar brandweermensen zich kunnen bevinden, is tussen de plaats waar de brand woedt en de plaats waar de brand heen wil. Als de deur achter u de enige uitweg is, dan wil de brand over u heen of door u heen naar die deur.

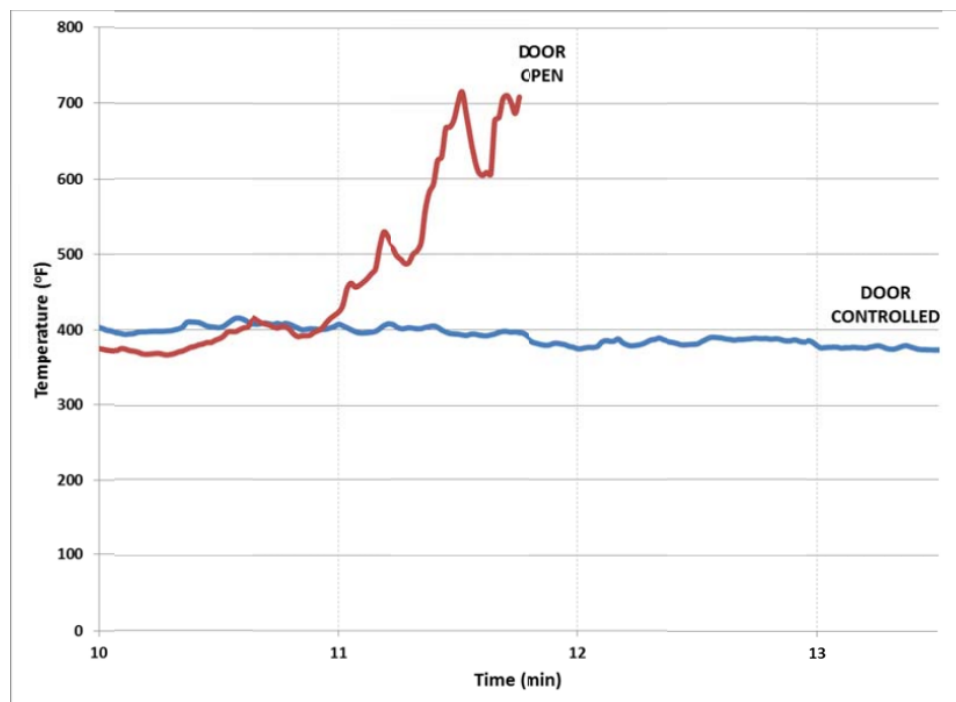


Figuur 4.2: Gecontroleerde deurbediening met een 1 3/4 inch<sup>35</sup> brandslang



Figuur 4.3: Temperatuur woonkamer bungalow nadat de voordeur is geopend en voordat het dak open is

<sup>35</sup> 44 mm



**Figuur 4.4:** Temperatuur televisiekamer huis met twee verdiepingen nadat de voordeur is geopend en voordat het dak open is

### 4.3. Gecoördineerde aanval inclusief verticale ventilatie

“Het dak eraf halen” is geen garantie voor positieve resultaten. De meeste brandweermensen zullen u vertellen dat het dak opengemaakt moet worden om twee belangrijke zaken te bewerkstelligen:

- 1) snel vertragen van de horizontale branduitbreiding door de brand te kanaliseren naar waar de brand heen wil: omhoog; en
- 2) verbeteren van de atmosfeer in het gebouw zodat de brandweerinzet in een veiliger omgeving kan plaatsvinden.

In de meeste les- en leerstof voor de brandweer worden de voordelen van verticale ventilatie op deze manier beschreven. Deze beschrijving moet echter worden aangevuld met een belangrijke waarschuwing en die heeft te maken met de lucht die het compartiment dat verticaal wordt geventileerd, binnenstroomt.

Verticale ventilatie is de meest efficiënte soort natuurlijke ventilatie. Hete gassen kunnen het gebouw snel verlaten. Echter, hierdoor wordt ook de meeste lucht het gebouw ingevoerd door een horizontale instroomopening, zoals een deur. Als de brand ventilatiebeheerst is, kan de meegevoerde lucht de verbrandingssnelheid verhogen zodanig dat deze te hoog wordt om via de verticale uitstroomopening uit te kunnen stoten. Als dit gebeurt, kunnen de omstandigheden in het gebouw snel verslechteren, wat zeker niet de bedoeling is van de ventilatie-inzet.

Het antwoord hierop is het coördineren van de verticale ventilatie met een aanval, zoals bij horizontale ventilatie ook zou gebeuren. Om te zorgen dat de brand zich niet uitbreidt en dat de ventilatie verloopt zoals werd beoogd, moet de brand van ventilatiebeheerst (waar lucht nodig is om te groeien) naar brandstofbeheerst worden gebracht door water aan te brengen. Zodra het water de overhand krijgt en er meer energie wordt geabsorbeerd door het water dan het vuur genereert, zal de ventilatie werken zoals werd beoogd. Uitgaande van in- en uitstroomopeningen van gelijke

grootte zal dit bij verticale ventilatie sneller gebeuren dan bij horizontale ventilatie.

Vergeleken met ventileren door een raam, is het openmaken van het dak van een gebouw geen snelle procedure. Zelfs als een dak dakramen of daklichten bevat, kost het extra tijd om op het dak te komen. Door de tijd die deze tactiek kost, wordt deze vaak pas uitgevoerd nadat een werkende straal is ingezet en van invloed is op het vuur, of het vuur al heeft bedwongen. Dat gezegd zijnde, bestaat de kans dat de uitstroomopening in het dak wordt geopend voordat de ploeg van de tankautospuiter een werkende straal in positie heeft om te beginnen met blussen. In dergelijke gevallen kan de uitstroomopening in het dak al vast worden voorbereid, maar er moet worden gewacht met het opentrekken of openzetten van de uitstroomopening totdat de bevelvoerder of de ploeg(en) in het gebouw aangeven dat dakventilatie nodig is. Als beide inzetten goed zijn gecoördineerd, is de kans veel groter dat het eindresultaat veilig en effectief is.

Neem experiment 5 in de bungalow als voorbeeld. Er is maar kort de gelegenheid voordat de temperaturen in het hele huis stijgen door de toegevoegde zuurstof (figuur 4.5, figuur 4.6 en figuur 4.7). Door het openen van de voordeur begon het proces waarbij zuurstof aan de ventilatiebeheerste brand werd toegevoegd. Zonder de ventilatieopening in het dak zou het vuur zich ook hebben ontwikkeld naar flashover, maar door het creëren van een opening boven het vuur wordt dit proces versneld. Veel mensen zullen denken dat door het openen van die uitstroomopening het proces wordt vertraagd omdat hete gassen naar buiten kunnen stromen. Maar de instromende lucht genereert meer hitte en rook dan er kan ontsnappen uit de opening van 4 voet bij 4 voet<sup>36</sup>.



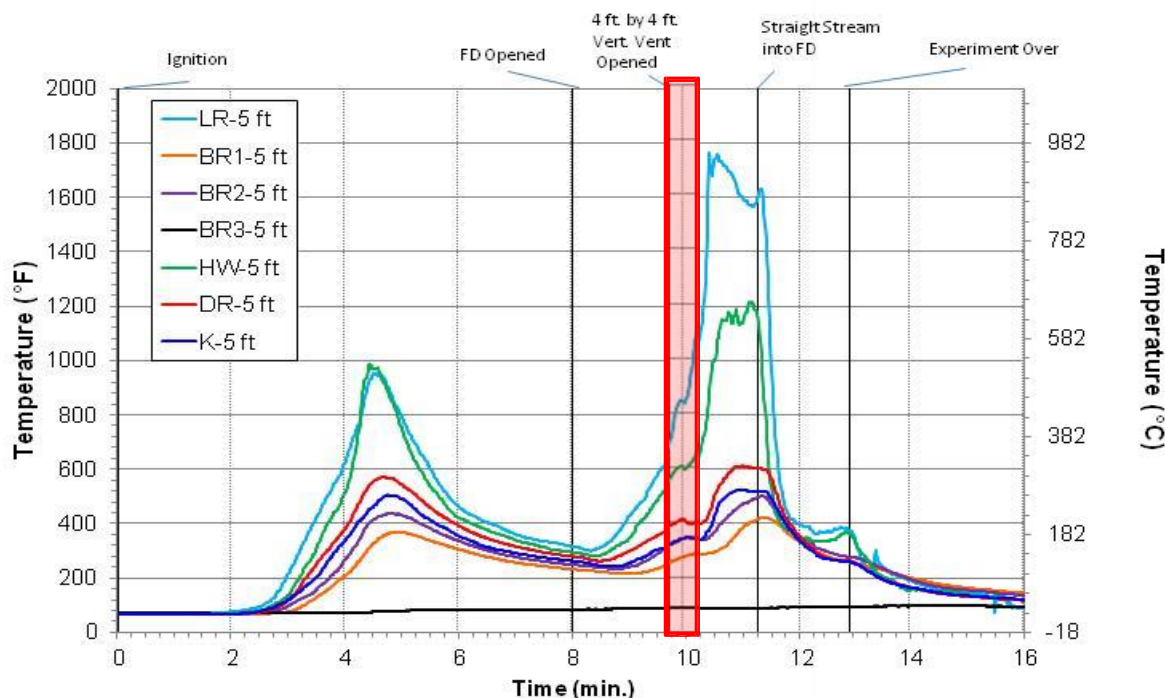
**Figuur 4.5: 5 seconden na dakventilatie**



**Figuur 4.6: 60 seconden na dakventilatie**

<sup>36</sup> 1,22 meter bij 1,22 meter





Figuur 4.7: temperatuur op 5 voet<sup>37</sup> in de bungalow met daarbij aangegeven het tijdframe waarin gehandeld kan worden

#### 4.4. Hoe groot moet de opening zijn?

Met een opening van 4 voet bij 8 voet<sup>38</sup> boven een ventilatiebeheerste brand worden niet meer hete gassen en rook afgevoerd dan er worden gegenereerd door de instroom van zuurstof door de voordeur. In (Amerikaanse) brandweertrainingen wordt vaak gerefereerd aan openingen van 4 voet bij 4 voet<sup>39</sup> als de grootte van een ventilatieopening benodigd voor een eengezinswoning, maar er wordt geen onderbouwing gegeven voor deze inschatting. Een alternatieve richtlijn voor de grootte van ventilatieopeningen die terug te vinden is in de brandweerlandliteratuur, adviseert een opening van 10% van de inhoud van de ruimte onder de opening. De bungalow heeft een woonkamer van ongeveer 230 vierkante voet<sup>40</sup>, wat resulteert in een opening van 4 voet bij 6 voet<sup>41</sup>. Het huis van twee verdiepingen heeft een televisiekamer van ongeveer dezelfde grootte, maar het huis heeft ook een open indeling, dus er is geen vastomlijnde inhoudsmaat.

Bij ieder gebouw werden twee ventilatieopeningen gemaakt - een van 4 voet bij 4 voet<sup>42</sup> en een

<sup>37</sup> 1,52 meter

<sup>38</sup> 1,22 meter bij 2,44 meter

<sup>39</sup> 1,22 meter bij 1,22 meter

<sup>40</sup> 21,37 vierkante meter

<sup>41</sup> 1,22 meter bij 1,83 meter

<sup>42</sup> 1,22 meter bij 1,22 meter

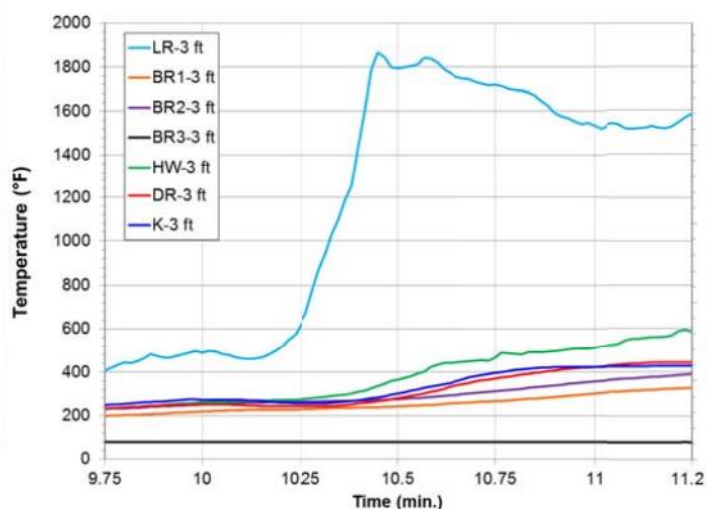
van 4 voet bij 8 voet<sup>43</sup>. De openingen werden gecreëerd boven de brand in de woonkamer bij de bungalow, en boven de brand in de televisiekamer bij het huis van twee verdiepingen. In beide huizen stond de voordeur open waarmee werd gesimuleerd dat een brandweerploeg toegang tot het huis had gekregen. Daarnaast werd ervan uitgegaan dat de brandweer bij een aanval niet wacht tot verticale ventilatie als enige taak is afgerond. (figuur 4.8 tot en met 4.11). In de grafieken worden per experiment de omstandigheden weergegeven na ventilatie en de temperaturen in iedere kamer vanaf het moment van verticale ventilatie totdat water werd aangebracht. De enige invloed op deze temperaturen is de inzet van ventilatie en deze grafieken laten zien – vergeleken met niet ventileren – dat met ventilatie alleen de branduitbreiding niet werd beperkt of de temperaturen daalden.

De gegevens van deze experimenten laten zien dat in beide huizen alleen een opening van 4 voet bij 8 voet<sup>44</sup> boven het vuur, niet leidt tot verbeterde omstandigheden of maakt dat ventilatiebeheerste omstandigheden veranderen in brandstofbeheerste omstandigheden.

Toen water op het vuur werd gebracht om de warmteafgifte terug te dringen, veranderde de brand in een brandstofbeheerste brand. Op dat moment geldt dat hoe groter de opening, des te beter de omstandigheden werden voor mogelijke slachtoffers of brandweermensen die in het gebouw opereerden.



Figuur 4.8: Bungalow, 4 voet bij 4 voet<sup>45</sup>



<sup>43</sup> 1,22 meter bij 2,44 meter

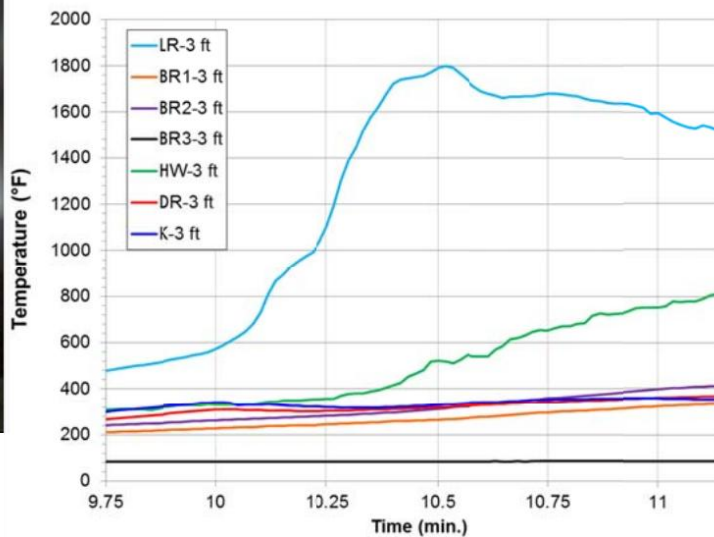
<sup>44</sup> 1,22 meter bij 2,44 meter

<sup>45</sup> 1,22 meter bij 1,22 meter

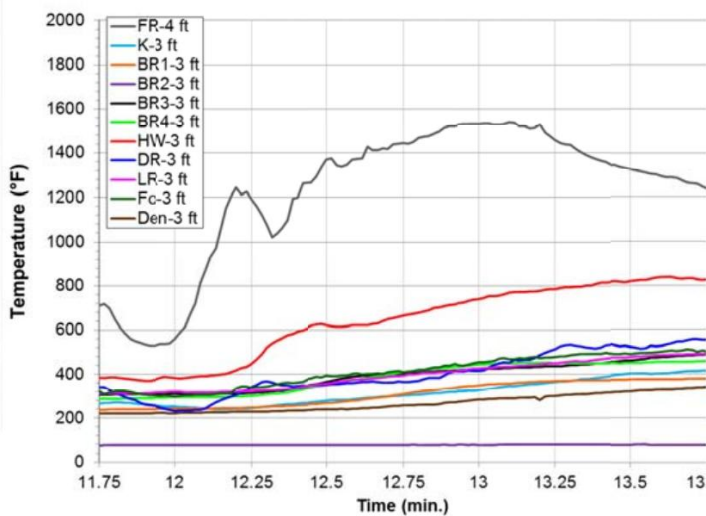




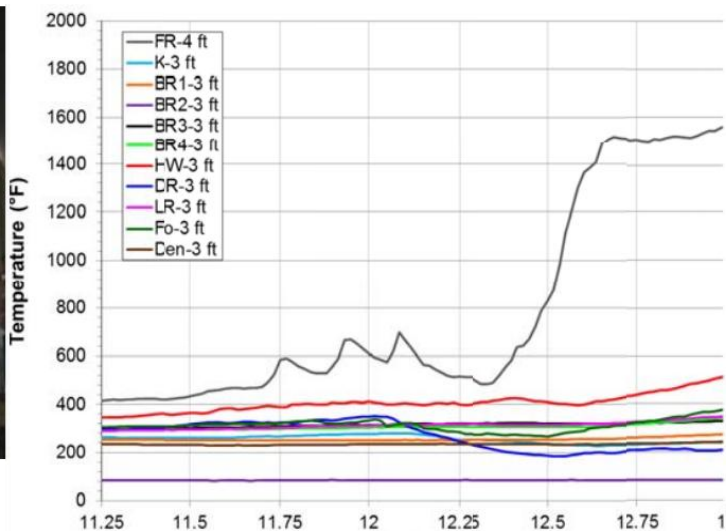
Figuur 4.9: Bungalow, 4 voet bij 8 voet<sup>46</sup>



Figuur 4.10: Twee verdiepingen, 4 voet bij 4 voet<sup>47</sup>



Figuur 4.11: Twee verdiepingen, 4 voet bij 8 voet<sup>48</sup>



<sup>46</sup> 1,22 meter bij 2,44 meter

<sup>47</sup> 1,22 meter bij 1,22 meter

<sup>48</sup> 1,22 meter bij 2,44 meter

#### 4.5. Waar ventileert u?

Als het gaat om een gecoördineerde aanval, dan is ventileren boven het vuur de beste keuze. Bij de tactische overwegingen voor een gecoördineerde aanval werd vastgesteld dat een ventilatiebeheerste brand in omvang groeit als lucht wordt toegevoegd. Daarnaast geldt dat hoe dichter de bron van de lucht zich bij de brandhaard bevindt, des te sneller deze in omvang zal toenemen (warmteafgifte en temperaturen zullen toenemen).

De positie van verticale ventilatie kan een complexe situatie opleveren, zeker als u niet zeker weet waar in het huis het vuur zich bevindt. Idealiter plant u uw verticale ventilatie aan de hand van de configuratie van de kamer, locaties van de deuren, locatie van de instroomopening en de daaruit voortvloeiende stromingspaden. Als u ventileert in combinatie met een gecoördineerde aanval, dan absorbeert de straal van de brandslang meer energie dan er wordt gegeneerd. In dat geval maakt het niet uit waar u ventileert. Maar hoe dichter de opening zich bij de brandhaard bevindt, des te beter zullen hitte en rook worden afgevoerd. Het leidt daarmee tot een verbetering van de omstandigheden voor het vervolg van de inzet op de brandlocatie. Als u verticaal ventileert en de aanval is vertraagd, dan is ventileren over het algemeen een slechte keuze. Verticaal ventileren dicht in de buurt van de brandhaard zal in dergelijke gevallen het snelst de slechtste omstandigheden opleveren. Met de moderne vuurlast en de hedendaagse hoeveelheid warmteafgifte, is de kans groot dat het vuur al snel te veel energie genereert voor de gecreëerde ventilatieopening. Eenvoudig gezegd, produceert het vuur meer dan eruit kan, dus de omstandigheden worden slechter bij afwezigheid van het aanbrengen van water.

Onder bepaalde omstandigheden kan het effectief zijn om te ventileren op een plaats verder verwijderd van de brand. Als het vuur zich in een ruimte bevindt die verbonden is met de rest van het huis middels een deuropening, dan kan ventileren via het dak buiten die kamer ervoor zorgen dat de rook uit de rest van het huis verdwijnt. Hoewel het zicht in het stromingspad tussen de instroomopening en de brandlocatie kan verbeteren, zal het vuur in omvang toenemen als lucht wordt meegevoerd. Om de brand beperkt te houden, fungeert de deuropening als begrenzende factor. Zodra brandstof buiten die deuropening ontbrandt – zoals een slaapkamerbrand die zich uitbreidt naar het meubilair in de woonkamer – dan neemt de mate van warmteafgifte snel toe, waarmee het tijdelijke voordeel van de op afstand gelegen verticale ventilatieopening verdwijnt. Dit is een voorbeeld van een situatie waarbij de verticale ventilatieopening een tijdelijk voordeel voor wat betreft zicht kan bieden, maar waarbij de brand en de temperaturen in het gebied van de brand zullen blijven toenemen.

#### 4.6. Stadia van brandverloop en stromingspaden

Het stadium waarin de brand zich bevindt – ventilatiebeheerst of brandstofbeheerst –, de afstand tot de instroomopening (deur of raam), lucht naar het vuur, de afstand van het vuur tot de uitstroomopening (deur, raam, ventilatieopening in het dak), de vorm van de instroom- en uitstroomopening en de vorm van voorwerpen (meubilair of muren) of openingen (binnendeuren) in de stromingspaden spelen allemaal een belangrijke rol bij hoe snel een brand zal reageren op zuurstof en daarmee ook bij de veiligheid van de brandweermensen.

Stromingspaden kunnen worden gedefinieerd als de beweging van hitte en rook vanaf de hogere luchtdruk binnen het gebied van de brand, naar alle andere gebieden met lagere luchtdruk, zowel binnen als buiten het gebouw waar de brand woedt. Terwijl de hete brandgassen zich in de richting van gebieden met een lagere druk bewegen, voert de energie van de brand zuurstof mee in de richting van de brand, omdat de brand de in het gebied beschikbare zuurstof snel verbruikt.

Afhankelijk de indeling van een gebouw en de beschikbare ventilatieopeningen (deuren, ramen, etc.) kunnen zich in een gebouw verschillende stromingspaden bevinden. Operaties die worden uitgevoerd in een stromingspad kunnen een aanzienlijk risico vormen voor brandweermensen omdat de stroming van vuur, hitte en rook in hun richting toeneemt.

De hieronder weergegeven afbeeldingen en teksten beschrijven een brand in een huis van één verdieping die begint in de woonkamer.

In figuur 4.12 wordt de mate van warmteafgifte door de brand weergegeven naarmate de brand voortduurt. De volgende reeks beelden laat de relatieve temperaturen in het huis zien en het stromingspad/de stromingspaden worden aangegeven met blauwe en rode pijlen. Nadat een voorwerp in de woonkamer ontvlamt, begint de **groeifase of ontwikkelingsperiode** van de brand. In dit stadium is de brand **brandstofbeheerst/gecontroleerd** (niet omdat er geen brandstof aanwezig is, maar omdat deze brandstof nog geen onderdeel uitmaakt van de brand) en het vuur wordt aan alle kanten gevoed door de lucht. Rook en hete gassen verspreiden zich langs het plafond naar alle open ruimtes in het huis.

Terwijl de brand in het compartiment groeit, bereikt de rooklaag de plaats waar de verbranding plaatsvindt. De brand bevindt zich nog steeds in de **groeifase/ontwikkelingsperiode**, maar wordt nu **ventilatiebeheerst/gecontroleerd**. Het vuur groeit nog, maar de groei verloopt langzamer omdat het vuur niet alle zuurstof heeft die nodig is om vrijuit te branden – alsof de brand niet in een compartiment plaatsvindt. In eerste instantie is de zuurstofconcentratie 21%, maar naarmate de zuurstof wordt verbruikt, vermengt de frisse lucht die naar de brand wordt gevoerd zich met de rook, waardoor de zuurstofconcentratie daalt en de brand minder snel groeit. Het is ook tijdens deze fase het meest waarschijnlijk dat de brand zich verder uitbreidt – buiten het oorspronkelijke voorwerp waarin de brand ontstond; de brand kan nu worden beschouwd als een compartimentbrand of kamerbrand. Zodra de zuurstofconcentratie tot ongeveer onder de 16% daalt, begint de brand aan de **eerste doofperiode**. Het zuurstofgehalte waarbij dit gebeurt, varieert, maar hangt met name af van de temperatuur in de kamer. Hogere temperaturen voordat de zuurstofconcentratie afneemt, ondersteunen een langere groeiperiode voor de doofperiode. Als het vuur dooft, blijven de temperaturen in de brandruimte hoog, maar de temperaturen in de rest van het huis dalen naarmate de mate van warmteafgifte afneemt. Tijdens dit stadium is nauwelijks sprake van een stromingspad. Het vuur probeert lucht mee te voeren uit elke willekeurige ruimte of scheur in het huis. Dit kan er van buiten uitzien als pulserende rook.

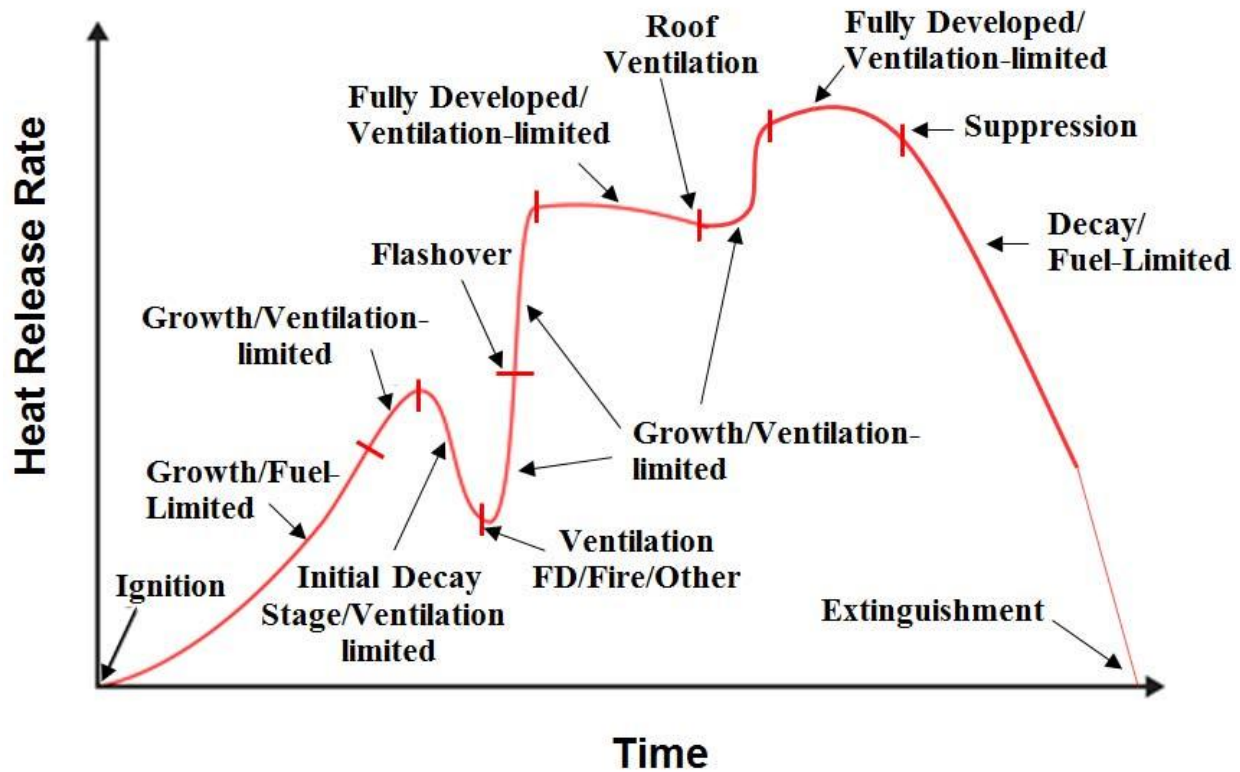
Een brand die aan het doven is, moet meer zuurstof naar zich toe trekken, anders gaat het vuur vanzelf uit. Ventilatie – waardoor het vuur weer toegang krijgt tot de benodigde zuurstof – kan op verschillende manieren in gang worden gezet: doordat een ruit of glazen deur breekt als gevolg van de brand, door een politieagent of burens die proberen te helpen, of door de brandweer die een ruit inslaat of een deur openbreekt. Zodra een opening wordt gecreëerd begint een **tweede groeifase of ontwikkelingsperiode**. De snelheid waarmee het vuur reageert en de snelheid waarmee de warmteafgifte toeneemt, is afhankelijk van in hoeverre het vuur was gedoofd en van de afstand tussen de luchttoevoer en de brandruimte. Het is van essentieel belang om in dit stadium te weten waar het stromingspad zich bevindt, omdat dit het moment is waarop brandweermensen met de ventilatiebeheerste brand in aanraking komen. Het is mogelijk dat zij zich in het stromingspad bevinden op het moment dat de brand snel verandert. In dit scenario opent de voordeur rechtstreeks in de brandruimte. Het resulterende stromingspad bestaat uit frisse lucht die naar binnen stroomt door de onderste helft van de voordeur (het gebied met lage druk) en rook en hete gassen die via de

bovenkant van de deur naar buiten stromen onder hogere druk. De enige manieren om de tweede groeifase of ontwikkelingsperiode te vertragen, is door water aan te brengen of door de voordeur gecontroleerd te bedienen.

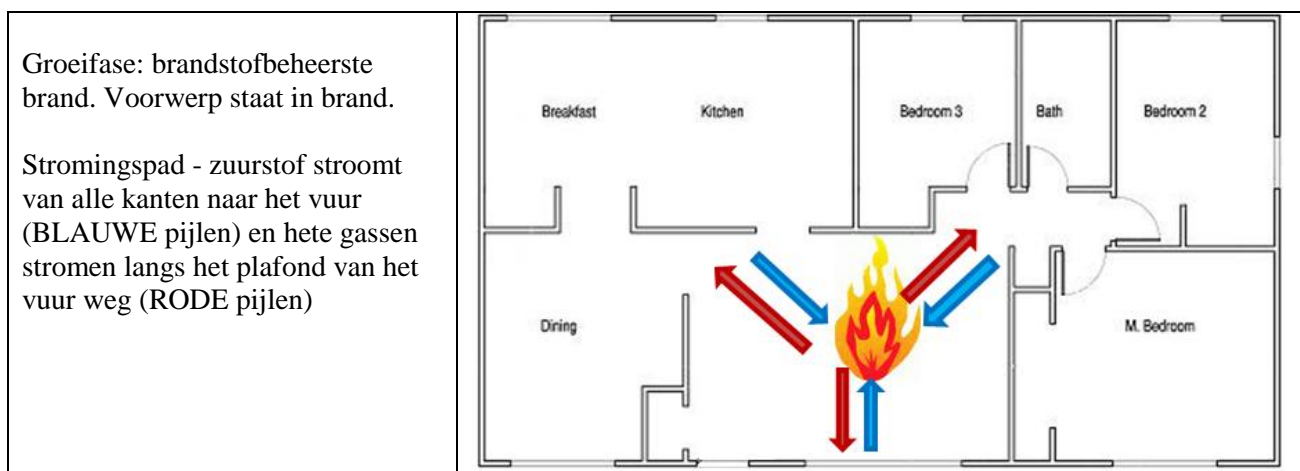
Tijdens de tweede groeifase zal het vuur overgaan in flashover als er geen water wordt aangebracht, of de deur niet gecontroleerd wordt bediend. **Flashover** is een kortstondige gebeurtenis die zich voordoet tijdens de tweede groeifase of ontwikkelingsperiode. Na flashover groeit het vuur tot het punt waarop het harder brandt (mate van warmteafgifte) dan kan worden ondersteund door de lucht die door de voordeur naar binnen stroomt. Brandbare rook en hete gassen stromen door de voordeur naar buiten, waar zij in aanraking komen met de zuurstof buiten het huis, en buiten het huis ontbranden. Dit is wat de brandweer een “uitslaande brand” zou noemen. In dit stadium is de brand ventilatiebeheerst en de temperaturen in het huis blijven hoog. De brand wordt nu niet geventileerd, maar ventileert zelf en als verder geen ruiten breken, deuren worden geopend of gaten in het dak worden gemaakt dan bereikt het vuur het stadium van een **volledig ontwikkelde brand**. Het vuur blijft met dezelfde warmteafgifte branden tenzij er extra zuurstof voor de brand beschikbaar komt, of als de brandstof zo ver is verbrand dat de brand terug het huis intrekt en brandstofbeheerst wordt, of als water op de brand wordt gebracht waardoor het weer een brandstofbeheerste brand wordt.

In dit scenario wordt een verticale ventilatieopening in de brandruimte gemaakt. Hierdoor gaat de brand een derde **groeifase of ontwikkelingsperiode** in. De warmteafgifte neemt toe naarmate meer rook en hete gassen uit het dak worden geventileerd, waardoor meer zuurstof door de voordeur kan worden meegevoerd. Het stromingspad naar binnen neemt in omvang en snelheid toe, terwijl het stromingspad naar buiten zich splitst. Het grootste deel van de uitstroom gaat via het dak, terwijl een klein deel nog via de voordeur stroomt. Er is nog brandstof aanwezig en er komt vuur uit het dak en uit de voordeur; de brand is nog steeds ventilatiebeheerst. Omdat de brand ventilatiebeheerst is, ontstaat een **tweede fase** waarin sprake is van een **volledig ontwikkelde brand**. De brand zal in dit stadium blijven totdat er extra zuurstof voor de brand beschikbaar komt (door het openen van een raam, een deur of het creëren van een grotere opening in het dak), of als de brandstof zo ver is verbrand dat de brand terug het huis intrekt en brandstofbeheerst wordt, of als water op de brand wordt gebracht waardoor weer een brandstofbeheerste brand ontstaat. In dit scenario is de **repressie** aangevangen. Dit markeert het begin van de **doofperiode**. De warmteafgifte wordt teruggebracht, het vuur is onder controle en er ontstaat weer een **brandstofbeheerste brand**. Tijdens deze fase worden er meer hete gassen en rook geventileerd dan er worden gecreëerd, dus de temperaturen in het huis zullen dalen en het zicht zal verbeteren. Hierdoor ontstaat de mogelijkheid voor doorzoeking, blussing, berging, grondige inspectie, etc.

Vergeleken met dit voorbeeld, werd bij experiment 5 een vergelijkbare tijdlijn gevolgd. In figuur 4.13 zijn de fasen van het brandverloop gelegd op de werkelijke temperaturen in het huis tijdens het experiment. Het enige verschil is de timing tussen het openen van de voordeur en het openen van de ventilatieopening in het dak. In het voorbeeld vond flashover plaats voordat er via het dak werd geventileerd. In het experiment werd het dak eerder opengezet en vond flashover plaats nadat de ventilatieopening in het dak was geopend. Dit figuur geeft een benadering van wat de temperaturen buiten de brandruimte zouden zijn in het voorbeeld als ventilatie wordt toegepast en de verschillende fasen van het brandverloop zich voltrekken.

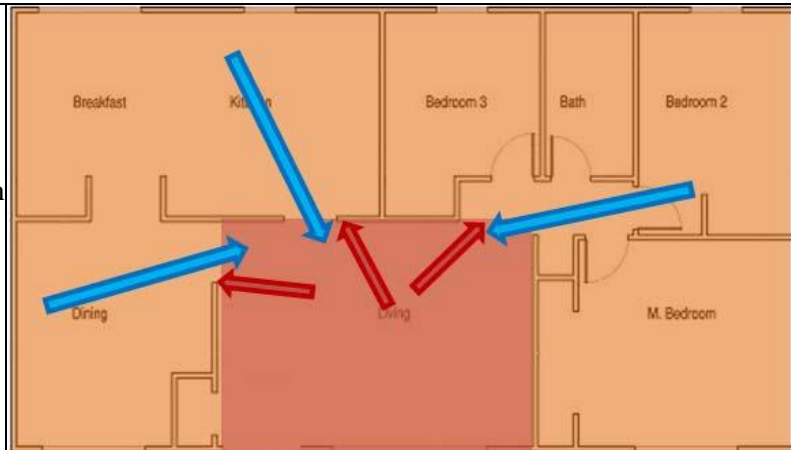


Figuur 4.12: Brandkromme voor dit voorbeeld van een brand



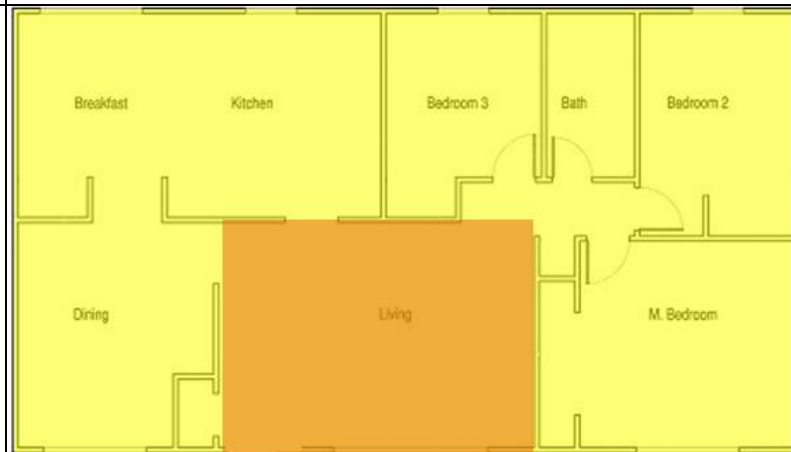
Groefase: ventilatiebeheerste brand. Kamer staat in brand, zuurstof neemt af.

Stromingspad - zuurstof stroomt van alle kanten naar de brandruimte (BLAUWE pijlen) en hete gassen stromen op alle hoogtes van het vuur weg (RODE pijlen).



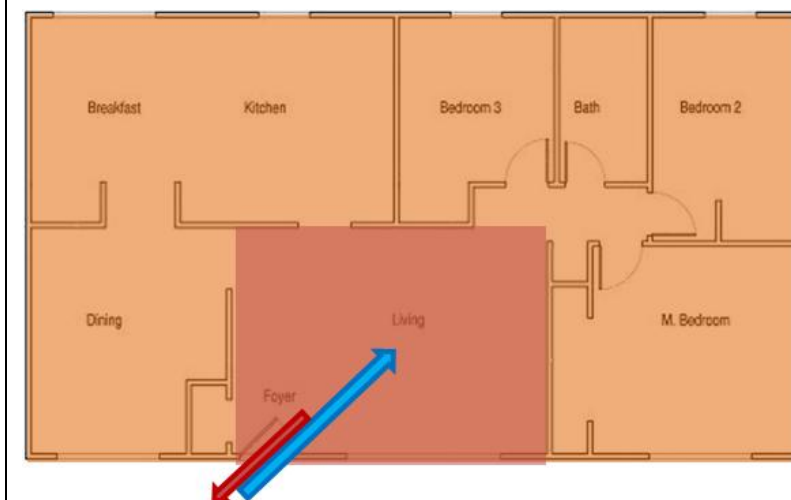
Eerste doofperiode: ventilatiebeheerste brand. Kamer staat in brand, zuurstof raakt op en temperaturen dalen.

Stromingspad - zuurstof stroomt vanuit alle richtingen naar de brandruimte door scheuren of lekken; hete gassen proberen ook door de scheuren te dringen. Er kan enige pulserende rook worden waargenomen.

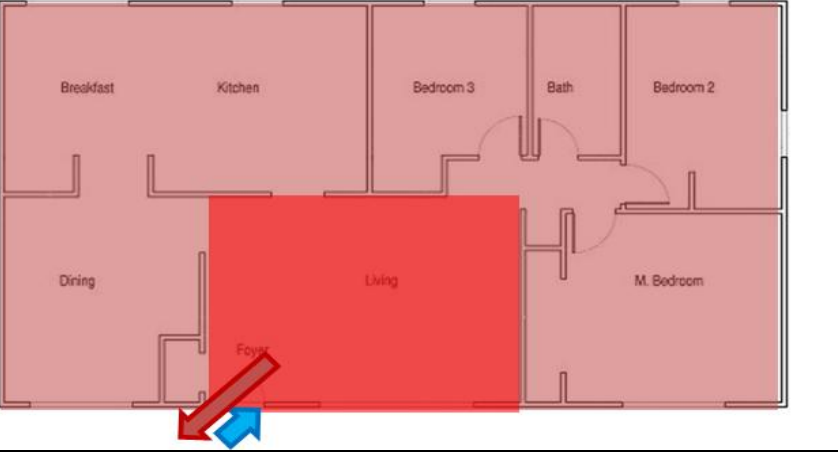
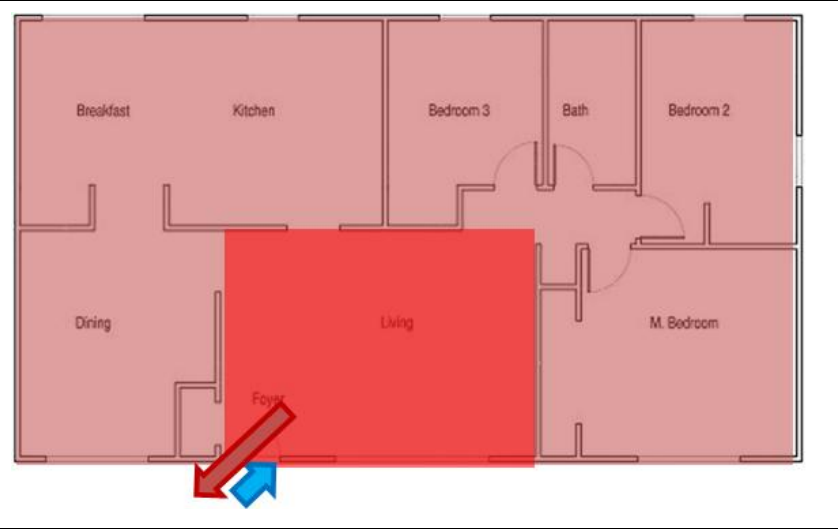
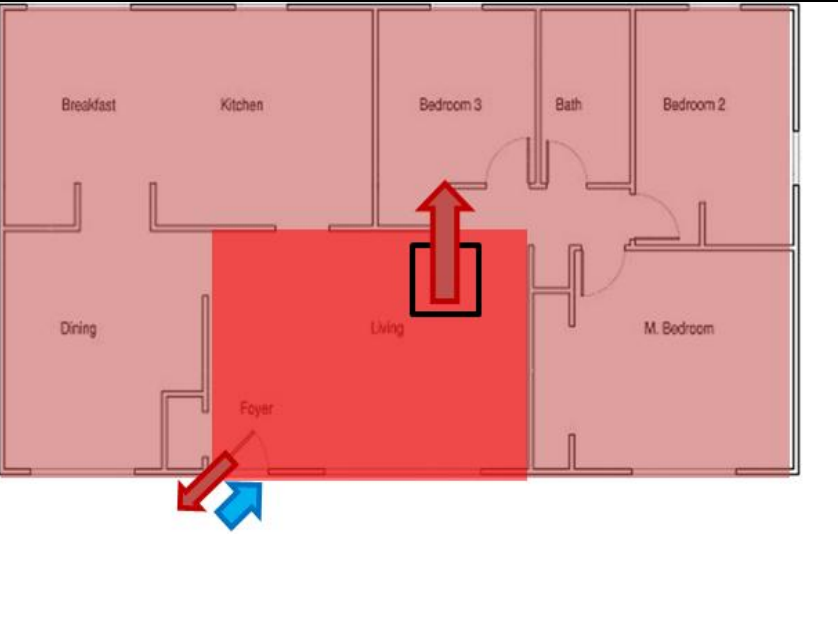


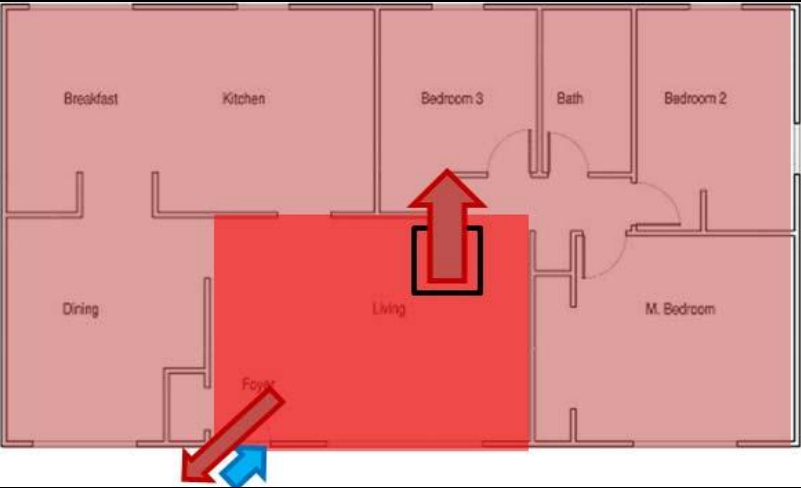
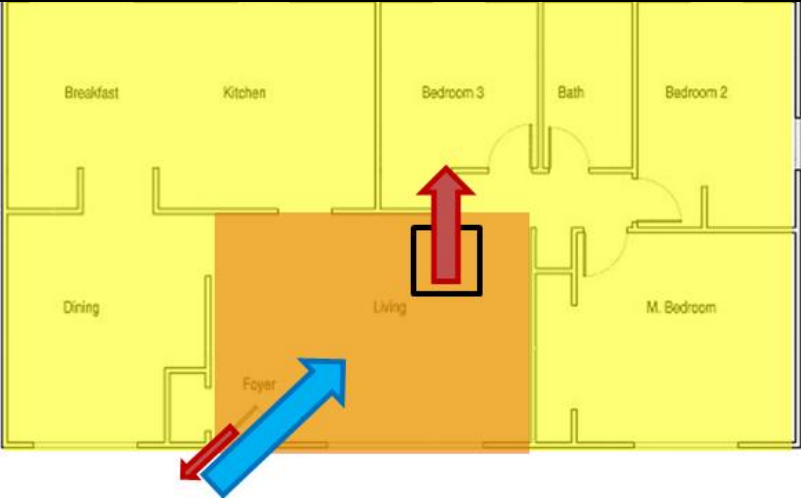
Ventilatie wordt toegepast: deur wordt geopend. Groeifase 2: ventilatiebeheerste brand. Kamer staat in brand, zuurstof wordt naar binnen gezogen en temperaturen stijgen.

Stromingspad - zuurstof stroomt naar de brandruimte via de onderzijde van de open voordeur (BLAUWE pijl) en hete gassen stromen naar buiten via de bovenkant van de deuropening (RODE pijl).

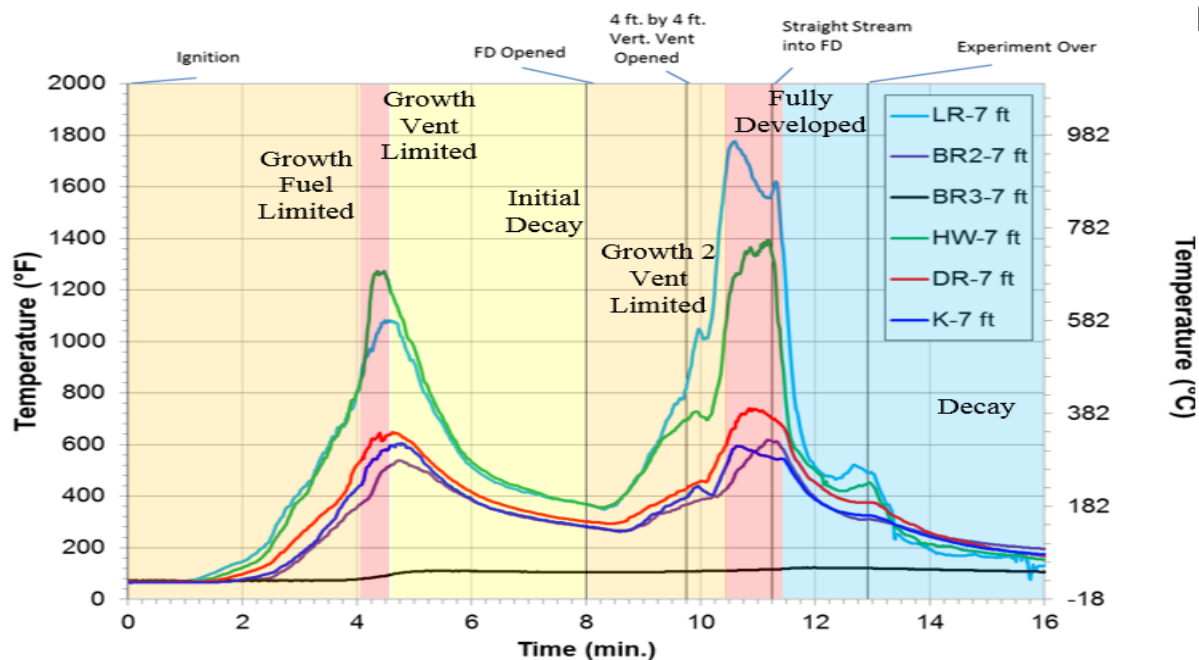




<p>Flashover: ventilatiebeheerste brand. Vlammen komen uit de deuropening, er is te veel brandstof in het huis om daar te kunnen verbranden.</p> <p>Stromingspad - zuurstof komt bij de deuropening in aanraking met brandstof (BLAUWE pijl) en vlammen schieten naar buiten aan de bovenkant van de deuropening (RODE pijl).</p>	
<p>Fase van volledige ontwikkelde brand: ventilatiebeheerste brand. Vlammen komen uit de deuropening, er is te veel brandstof in het huis om daar te kunnen verbranden maar de temperatuur blijft stijgen.</p> <p>Stromingspad - zuurstof komt bij de deuropening in aanraking met brandstof (BLAUWE pijl) en vlammen schieten naar buiten aan de bovenkant van de deuropening (RODE pijl).</p>	
<p>Aanvullende ventilatie wordt toegepast, ventilatie via het dak.</p> <p>GroEIFase 3: ventilatiebeheerste brand. Vlammen komen uit de deuropening, en de ventilatieopening in het dak, er is te veel brandstof in het huis om daar te kunnen verbranden, maar temperatuur blijft stijgen.</p> <p>Stromingspad - zuurstof komt bij de deuropening in aanraking met brandstof (BLAUWE pijl) en vlammen schieten naar buiten aan de bovenkant van de deuropening en het dak (RODE pijlen).</p>	

<p>Volledig ontwikkelde brand fase 2: ventilatiebeheerste brand. Vlammen blijven uit de deuropening, en de ventilatieopening in het dak komen, er is te veel brandstof in het huis om daar te kunnen verbranden, maar temperatuur blijft stijgen.</p> <p>Stromingspad - zuurstof komt bij de deuropening in aanraking met brandstof (BLAUWE pijl) en vlammen schieten naar buiten aan de bovenkant van de deuropening en het dak (RODE pijlen).</p>	
<p>Aanbrengen van water: brandstofbeheerste brand. Temperaturen worden gekoeld.</p> <p>Stromingspad - zuurstof komt via de voordeur naar binnen (BLAUWE pijl) en hete gassen stromen voornamelijk via het dak en via de voordeur naar buiten, temperaturen in het hele huis worden gekoeld (RODE pijlen).</p>	





Figuur 4.13: Experiment 5 Stadia van het brandverloop

In de experimenten met de bungalow openden we de voordeur van het huis en ventileerden we boven de brand in de huiskamer, of we openden de voordeur en ventileerden via een verder van het vuur in de slaapkamer verwijderde ventilatieopening (boven de woonkamer). De locatie van de frisse lucht was hetzelfde, maar de lucht moest andere paden volgen om het vuur te laten groeien. Ook de hete gassen moesten andere paden volgen om het gebouw te verlaten. Inzicht in de dynamiek of stromingsleer van een brand is van essentieel belang om te begrijpen hoe de brand zal reageren op ventilatie. De meest efficiënte manier om de brand in omvang toe te laten nemen (mate van warmteafgifte), is het openmaken van het dak boven het vuur (de verwarmde kamer vol onverbrande brandstof) en lucht rechtstreeks naar de basis van wat er in brand staat laten stromen (figuur 4.14).

Door de voordeur en het dak buiten de brandruimte te openen, en lucht van buiten de kamer mee te laten voeren, wordt de deuropening in het stromingspad geplaatst, wat de dynamiek van de brand sterk beïnvloedt (figuur 4.15). Zodra de ventilatieopeningen zijn opgezet, stijgt het neutrale vlak, waardoor de hete gassen via de bovenkant van de deuropening van de brandruimte kunnen ontsnappen, terwijl frisse lucht via de onderkant van de deuropening mee naar binnen kan worden gevoerd. Omdat de hete gassen vanaf het plafond van de brandruimte (het gebied met hoge druk) naar beneden moeten stromen om door de deur te kunnen stromen, wordt de stroming trager omdat de gassen zich in de richting van de lage druk moeten bewegen. De gebieden met lage druk bevinden zich bij de ventilatieopeningen in het dak en de voordeur. Het gebied van het stromingspad met lage druk loopt van de voordeur tot de onderste helft van de deuropening van de brandruimte.

Terwijl de frisse lucht dit pad aflegt, vermengt deze zich met rook en onverbrande gassen. Hierdoor daalt de zuurstofconcentratie tot onder 21% en de stroom frisse lucht wordt daarmee minder effectief om het vuur te laten groeien. Met de deuropening als vernauwingspunt groeit het

vuur minder snel wanneer het verder verwijderd is van de ventilatieopeningen. Echter, zodra de brand voldoende lucht naar zich toe trekt, zal deze zich ontwikkelen tot flashover, en vlammen en hete gassen zullen de kamer uit stromen en zich verspreiden in de richting van de ventilatieopeningen. Als zich andere brandstoffen in dit pad bevinden, zullen deze ontbranden en de mate van warmteafgifte zal snel toenemen omdat deze brandstoffen zich in een voorverwarmde omgeving bevinden, aangevuld met de onverbrande brandstoffen uit de oorspronkelijke brandruimte (figuur 4.16). De brand zal zich uitbreiden totdat deze ventilatiebeheerst wordt, met het nieuwe stromingspad rechtstreeks naar de woonkamer. Er zijn nu twee brandruimten, maar in de oorspronkelijke brandruimte (de slaapkamer) zal de verbranding afnemen en de temperaturen teruglopen omdat de zuurstof wordt verbruikt door de brand in de woonkamer, waardoor de zuurstof niet in de slaapkamer terecht komt (figuur 4.17).

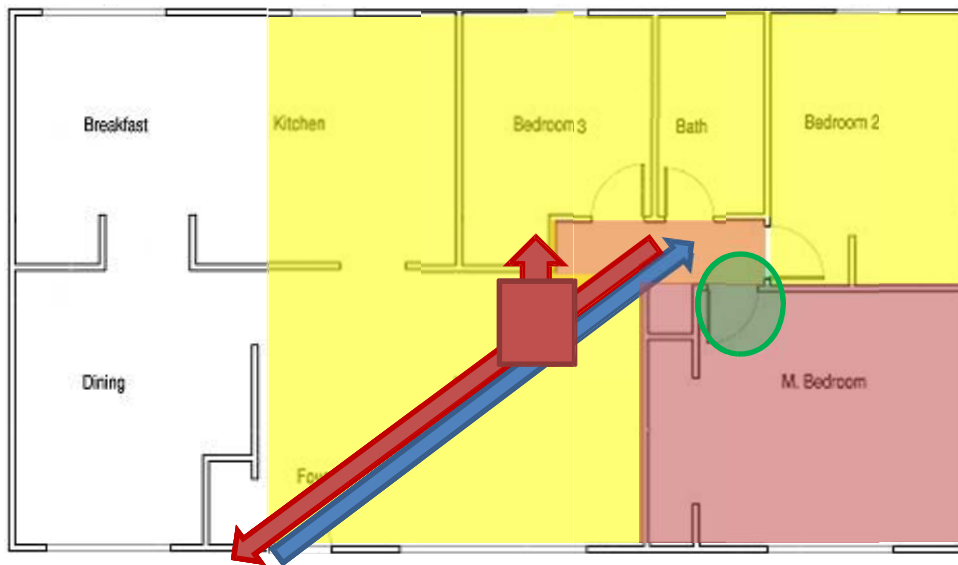
Figuur 4.18 geeft de stromingspaden weer nadat door het raam van de slaapkamer aan de voorzijde was geventileerd. De slaapkamer aan de voorzijde (de oorspronkelijke brandruimte) was vol met onverbrande brandstoffen en werd opgewarmd door de verbranding in de kamer. Zodra het raam werd geopend, kon de lucht zich vermengen met de brandstof en hitte om vervolgens te ontbranden en te verbranden. In de slaapkamer zou flashover plaatsvinden en een volledige ontwikkelde brand ontstaan, met uitslaande vlammen uit de voordeur, het slaapkamerraam en de ventilatieopening in het dak.

Het huis blijft branden in de fase van volledig ontwikkelde brand totdat via het raam van de slaapkamer aan de achterzijde werd geventileerd. Hierdoor ontstaat een stromingspad door de slaapkamer aan de achterkant naar de hal, waardoor lucht wordt toegevoegd aan de zeer warme omstandigheden in de hal. Hete gassen kunnen door het open raam richting lage druk stromen via de bovenkant van het raam (figuur 4.19). Terwijl deze gassen uit de slaapkamer stromen, verwarmen zij deze kamer en zodra een voorwerp in de kamer ontbrandt, neemt de mate van warmteafgifte snel toe. Figuur 4.20 geeft de stromingspaden weer nadat in de slaapkamer aan de achterzijde flashover plaatsvond.

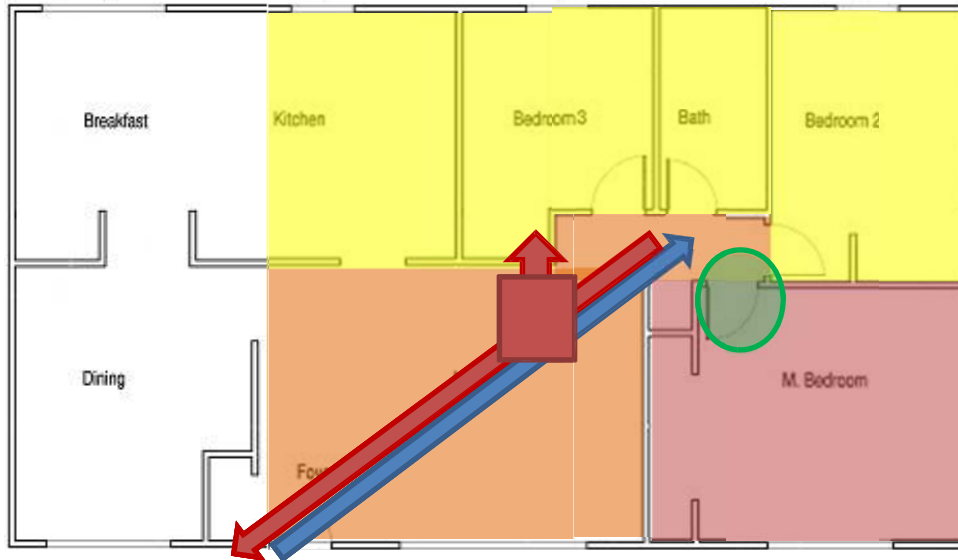
De brand is volledig ontwikkeld en de stromingspaden lopen via de ventilatieopeningen omdat de omstandigheden in het huis ventilatiebeheerst zijn, en de lucht die nodig is voor verbranding, zich buiten het huis bevindt. De temperaturen in de omgeving van de eetkamer en de keuken zijn verhoogd, maar er is geen sprake van brand. Dit komt door het tekort aan zuurstof in het huis. Als de ramen naar die kamers zouden worden geventileerd, of zouden breken, dan zou ook daar flashover ontstaan. Dit voorbeeld laat zien hoe een huis brandt als alleen ventilatie wordt toegevoegd. Als op enig moment water op de brand zou worden aangebracht, dan zouden de warmteafgifte en temperaturen afnemen en ventilatie zou helpen om meer verbrandingsproducten te laten wegstromen dan er door de brand worden gegenereerd. Met andere woorden: de brand zou zich van een ventilatiebeheerste brand ontwikkelen naar een brandstofbeheerste brand. Het beperken van stromingspaden totdat water kan worden aangebracht, is belangrijk voor het beperken van de warmteafgifte en de temperaturen in het huis.



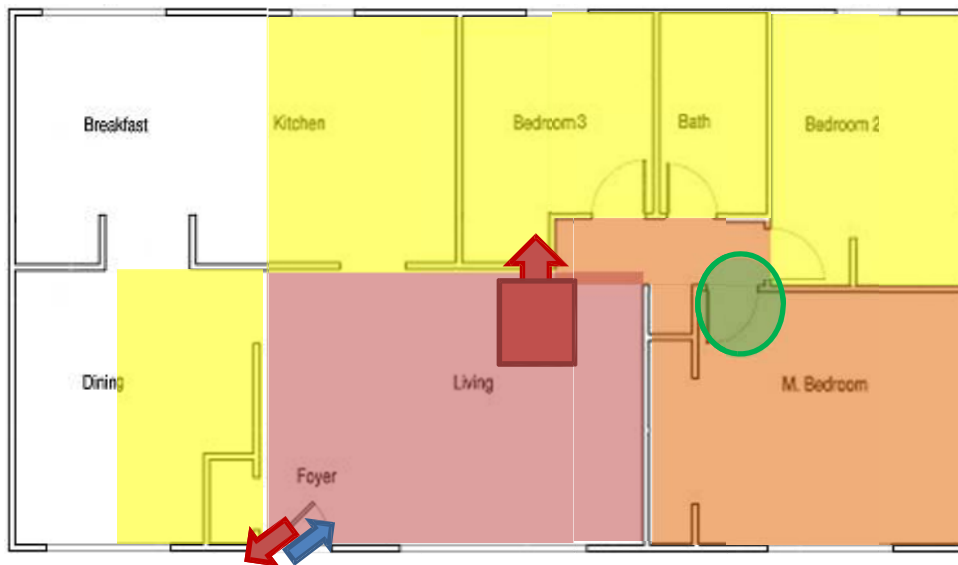
**Figuur 4.14: Stromingspad rechtstreeks in en uit de brandruimte**



**Figuur 4.15: Stromingspad door een andere kamer naar de brandhaard**



**Figuur 4.16: Stromingspad terwijl meubelstukken in de woonkamer ontbranden**



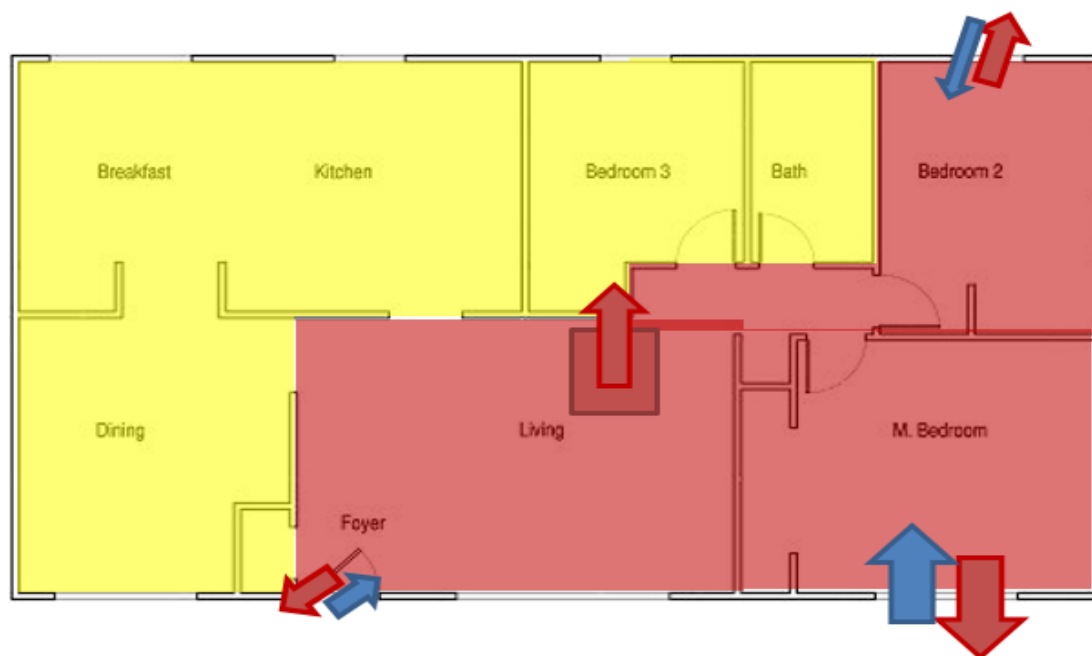
**Figuur 4.17: Stromingspad nadat de woonkamer flashover heeft bereikt**



**Figuur 4.18: Stromingspaden nadat het raam van de slaapkamer aan de voorzijde is geopend**



**Figuur 4.19: Stromingspaden nadat het raam van de slaapkamer aan de achterzijde is geopend**



**Figuur 4.20: Stromingspaden bij een volledig ontwikkelde brand**

#### **4.7. Timing is van essentieel belang**

Brandweermensen die een effectieve ventilatie-inzet uitvoeren denken na over timing. Het is niet mogelijk om iets te zeggen over de effectiviteit van ventilatie zonder timing daarin mee te nemen. In eerdergenoemde tactische overwegingen, hebben we gekeken naar coördinatie, waar te ventileren en stromingspaden. Al deze onderwerpen hangen af van een juiste timing. Brandweermensen die ventilatie op de brandlocatie hebben ingezet, hebben de uitkomsten van hun handelingen gezien, maar weten zij waarom? In sommige gevallen werden de omstandigheden in het gebouw misschien beter, en in andere gevallen kan de brand zich hebben ontwikkeld tot flashover. Het is van essentieel belang dat iedere brandweerman of vrouw weet waarom het vuur reageerde zoals het reageerde door inzicht te krijgen in de dynamiek van een brand. Anders kan die ervaring wellicht verspilde moeite zijn of verkeerd uitpakken en in de toekomst foutief worden toegepast.

Ventileren staat niet in alle gevallen gelijk aan koelen, maar indien goed getimed en goed gepositioneerd, staat ventileren gelijk aan verbeterde omstandigheden. Deze verbeterde omstandigheden zijn koeling, beter zicht, functionele stromingspaden tegenover een brandslanginzet zodat uitzetting door stoom een uitweg heeft, en andere voordelen. Dezelfde ventilatie-inzet kan 30 seconden later of eerder een dramatisch andere uitkomst hebben. Dit is vooral het geval bij verticale ventilatie. Verticale ventilatie is het meest effectief en leidt dan ook tot de snelste veranderingen. Een goed voorbeeld hiervan is wanneer een interieurbrand verticaal wordt geventileerd naar een zolderruimte met een houten skelet. Wanneer de ventilatieopening wordt opgezet en het plafond open wordt gedrukt, dan zal het vuur zich uitbreiden naar de zolderruimte. Omdat een zolder is ontworpen om te worden geventileerd – zelfs al voordat er een ventilatieopening wordt gemaakt – bevindt zich daar vaak al genoeg lucht en brandstof om te verbranden. Als er geen water op de binnenbrand wordt gebracht, gevolgd door een grondige inspectie van de verticale ventilatieopening, dan kan de brand ongecontroleerd voortwoeden in het

dak.

Als we het hebben over timing, dan zijn de volgende overwegingen van belang:

- De brand reageert niet meteen op de extra zuurstof. Een ventilatie-inzet lijkt in eerste instantie een positief effect te hebben als de lucht wordt meegevoerd in de ventilatiebeheerste brand, maar 2 minuten later kunnen de omstandigheden fataal worden als er geen water wordt aangebracht.
- Hoe hoger de binnentemperaturen, des te sneller de brand reageert. Als bij aankomst vlammen te zien zijn, dan zijn de binnentemperaturen hoger dan als het huis is afgesloten. Dit betekent dat extra ventilatieopeningen zullen leiden tot meer verbranding in een korter tijdsbestek.
- Hoe dichter de lucht zich bij het vuur bevindt, des te sneller zal het vuur reageren. Het ventileren van de brandruimte leidt tot snellere verbranding, maar het laat ook de hete gassen sneller wegstromen nadat water is aangebracht.
- Hoe hoger de ventilatie, des te sneller reageert de brand. Snellere en effectievere ventilatie leidt tot een sneller aanvoer van lucht, wat weer resulteert in meer verbranding en hogere temperaturen. Het betekent ook betere ventilatie nadat water wordt aangebracht.
- Hoe meer lucht, des te sneller reageert de brand. Ook geldt: hoe hoger de uitstoot, des te meer lucht er naar de brand kan worden gevoerd. Een grotere ventilatieopening in het dak betekent dat er meer lucht naar de brand wordt gevoerd. Als de brand brandstofbeheerst is, is dat een goede zaak. Maar als de brand ventilatiebeheerst is, kan dat verkeerd uitpakken.

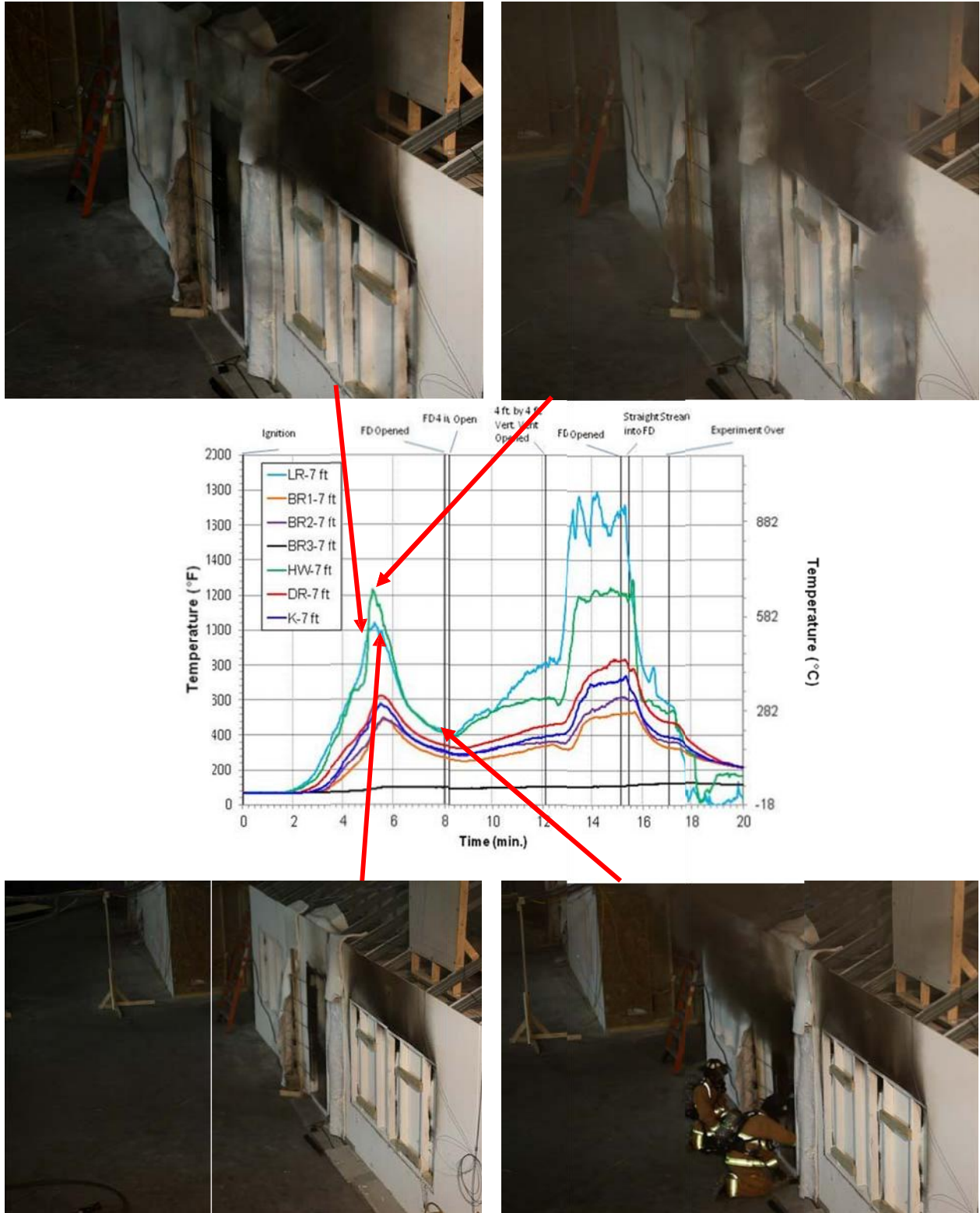
#### 4.8. Het lezen van de rook

Het observeren van de rook is een heel belangrijk onderdeel van de verkenning. Wees vooral niet te overmoedig als er bij aankomst niets te zien is. Figuur 4.21 laat de omstandigheden aan zijde A zien tijdens een experiment in de bungalow. De bovenste twee afbeeldingen zijn 10 seconden voorafgaande aan het bereiken van de hoogste temperaturen: de rook komt door de scheuren in het gebouw en verandert van zwart en onder druk, naar grijs met minder druk. Tien seconden later is er helemaal geen rook meer te zien. De brand komt zuurstof te kort en is aan het doven. De afbeelding rechtsonder toont de omstandigheden zodra de voordeur werd geopend.

Figuur 4.22 laat zien hoe de druk snel daalde tot negatieve waarden toen de uitstroom van rook ophield en de zuurstofconcentratie snel zakte, terwijl de brand de maximale temperatuur bereikte en begon te doven. Wanneer de temperatuurgegevens worden vergeleken met de drukgegevens dan blijkt dat de druk in het huis negatief wordt terwijl de temperatuur in de woonkamer nog steeds 800 °F<sup>49</sup> bedraagt. Als er geen of weinig rook zichtbaar is, kan dat duiden op een brandstofbeheerste brand die weinig rook produceert, of – zoals in dit geval – op een ventilatiebeheerste brand die zich in de initiële doofperiode bevindt en te weinig lucht krijgt. Om de veiligheid van brandweerpersoneel te vergroten, kunt u overwegen om iedere brand te beschouwen als een ventilatiebeheerste brand, totdat het tegendeel is bewezen.

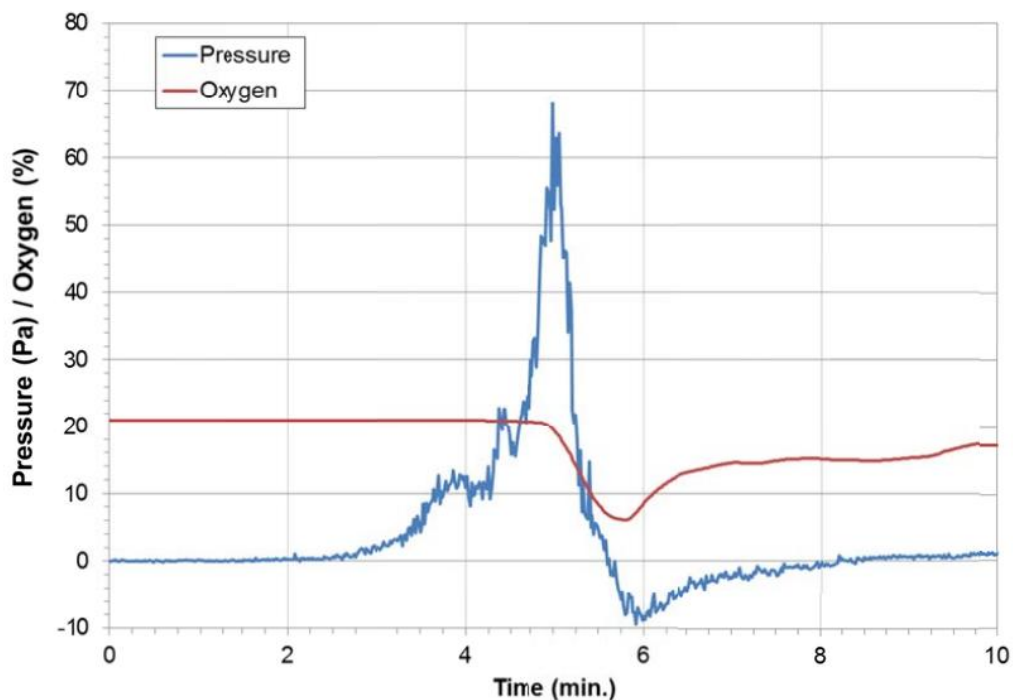
---

<sup>49</sup> 426,67 °C



**Figuur 4.21: Veranderende rookomstandigheden**





Figuur 4.22: Druk en zuurstofconcentraties die van invloed zijn op de hoeveelheid rook die zichtbaar is

#### 4.9. Impact van een gesloten deur voor een overleefbare situatie voor slachtoffers en brandweermensen

De meest waarschijnlijke plaats om slachtoffers aan te treffen die nog gered kunnen worden, is achter een gesloten deur. In ieder experiment zou een slachtoffer dat zich in de afgesloten slaapkamer bevindt, kunnen overleven en kunnen blijven functioneren gedurende de duur van het experiment en in ieder geval tot na aankomst van de brandweer. Voor de open slaapkamer geldt een heel ander verhaal.

Wanneer het aankomt op het redden van bewoners, neemt de brandweer besluiten op basis van risico's en de overleefbaarheid van de situatie voor de slachtoffers. Ze nemen een persoonlijk risico als daarmee iemand in het huis kan worden gered. Ieder experiment omvatte een gesloten slaapkamer naast een open slaapkamer. Hierdoor kan een vergelijking worden gemaakt met betrekking tot overleefbaarheid in de naast elkaar gelegen slaapkamers: een slaapkamer waarvan de deur open was en een slaapkamer met een gesloten deur. De aanname was dat de bewoner de deur reeds had gesloten, of de deur sloot op het moment dat de brand werd ontdekt.

Tabel 4.1 en tabel 4.2 laten de tijd zien totdat er een niet-overleefbare situatie ontstaat – als gevolg van koolmonoxide en temperaturen – voor de bewoners in de open en gesloten slaapkamer op een hoogte van 3 voet<sup>50</sup> vanaf de vloer in beide huizen. In alle experimenten zou een slachtoffer in de afgesloten kamer hebben kunnen overleven en kunnen blijven functioneren gedurende het experiment, in ieder geval tot nadat de brandweer ter plaatse was gearriveerd. In de open

<sup>50</sup> 0,91 meter

slaapkamer was het verhaal heel anders. De meeste slachtoffers zouden bewusteloos zijn, als ze niet al waren overleden, voordat de brandweer ter plaatse arriveerde, of als gevolg van ventilatie-inzet.

**Tabel 4.1: Overleefbaarheid CO en temperatuur op 3 voet<sup>51</sup> van de vloer in een open en gesloten slaapkamer in de bungalow**

Experiment	Open slaapkamer CO (mm:ss)	Afgesloten slaapkamer CO (mm:ss)	Open slaapkamer temperatuur (mm:ss)	Afgesloten slaapkamer temperatuur (mm:ss)	Aankomst brandweer
1	05:54	n.v.t.	07:00	n.v.t.	8:00
3	05:53	n.v.t.	07:17	n.v.t.	8:00
5	Haperende apparatuur	n.v.t.	05:57	n.v.t.	8:00
7	07:04	n.v.t.	06:18	n.v.t.	8:00
9	06:06	n.v.t.	16:16	n.v.t.	6:00
11	06:11	n.v.t.	07:29	n.v.t.	6:00
13	11:54	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	10:00
15	05:51	19:33	04:58	n.v.t.	6:00
17	29:04	n.v.t.	29:13	n.v.t.	24:00

**Tabel 4.2: Overleefbaarheid CO en temperatuur op 3 voet<sup>52</sup> van de vloer in een open en gesloten slaapkamer in het huis van twee verdiepingen**

Experiment	Open slaapkamer CO (mm:ss)	Afgesloten slaapkamer CO (mm:ss)	Open slaapkamer temperatuur (mm:ss)	Afgesloten slaapkamer temperatuur (mm:ss)	Aankomst brandweer
2	11:46	n.v.t.	07:34	n.v.t.	10:00
4	13:22	n.v.t.	09:04	n.v.t.	10:00
6	12:42	n.v.t.	08:23	n.v.t.	10:00
8	12:35	n.v.t.	08:34	n.v.t.	10:00
12	10:50	n.v.t.	07:31	n.v.t.	8:00
16	18:54	32:14	27:05	n.v.t.	27:00

OPMERKING: Experimenten 10 en 14 werden niet opgenomen omdat de open slaapkamer de brandruimte was.

#### 4.10. Verzwakken van het doel

Zo snel mogelijk water op het vuur aanbrengen – ongeacht waar het vandaan komt – kan de omstandigheden in het gehele gebouw verbeteren. Zelfs een kleine hoeveelheid water heeft al een positieve invloed op de omstandigheden in het huis, waardoor de overlevingskansen voor de slachtoffers en de veiligheid van brandweermensen toenemen.

Tijdens deze experimenten werd gedurende ongeveer 15 seconden van buiten af water aangebracht door een deur of een raam waar vuur uit kwam of waardoor toegang tot het vuur bestond. Dit was

<sup>51</sup> 0,91 meter

<sup>52</sup> 0,91 meter

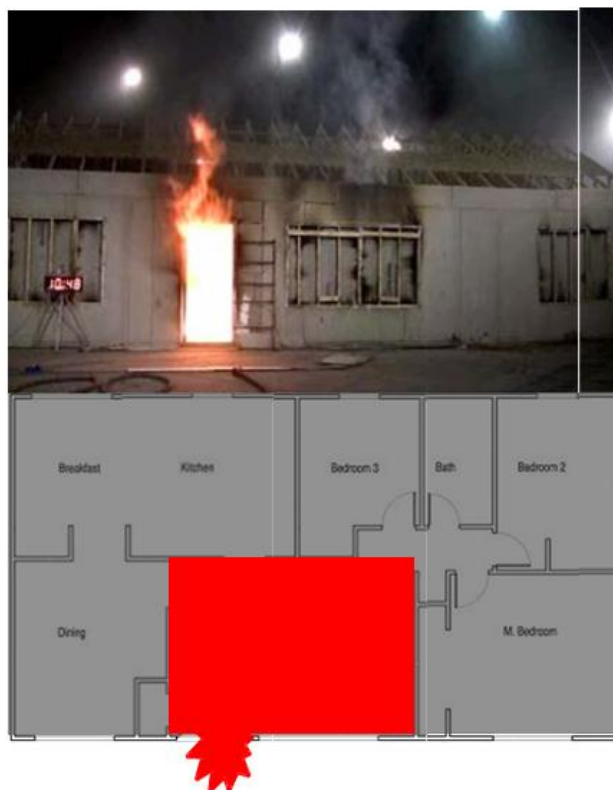
inclusief het stopzetten van de waterstraal gedurende 60 seconden terwijl de omstandigheden werden gecontroleerd. Deze kleine hoeveelheid water had al een positieve invloed op de omstandigheden in de huizen, waardoor de overlevingskansen voor de slachtoffers en de veiligheid van de brandweermensen toenemen. Als een brandweerploeg naar binnen ging en doorging met het blussen van de brand, dan zouden de omstandigheden nog veel verder zijn verbeterd.

Bij de verkenning moet de brandweer een inschatting maken van de snelste en veiligste manier om water op het vuur te brengen. Dat kan inhouden het blussen via een raam, een deur, door een buiteninzet of een binneninzet. Uitgaande van de bungalow als voorbeeld, kan de eerste straal op verschillende plaatsen worden gepositioneerd. De positie van de eerste straal wordt bepaald aan de hand van de verkenning, het aanwezige brandweerpersoneel en vele andere overwegingen. Als het de allerhoogste prioriteit heeft om water op de brand te brengen dan spitst de discussie zich daarop toe. Ervan uitgaande dat de eerste straal vanaf kant A of de onderkant van ieder figuur komt, zou in het eerste voorbeeld – waar het vuur zichtbaar is in de voordeur – het water worden aangebracht door de voordeur. Hoewel dit niet de traditionele manier is om een brand te bestrijden – van niet verbrand naar verbrand – zullen de omstandigheden voor zowel eventuele slachtoffers als brandweermensen sneller verbeteren.

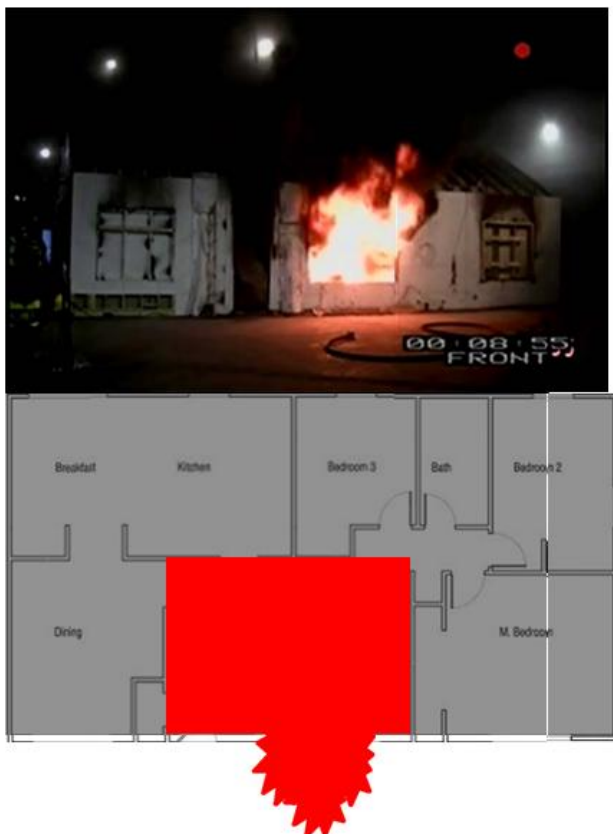
Bij voorbeeld 2 – waar het vuur uit het raam van de woonkamer komt – zou het water worden aangebracht door het raam aan de voorkant, voordat de brandweer door de deuropening het huis binnengaat. Op deze plattegrond komt de voordeur rechtstreeks uit op de brandende woonkamer, maar bij aankomst zal dit waarschijnlijk niet bekend zijn. De voordeur hoeft niet per se direct toegang te geven tot deze kamer. De entree kan ook zo zijn ingedeeld dat de brandweerploeg eerst door een gang moet lopen om bij het vuur te komen. Dit maakt dat de ploeg zich in het stromingspad bevindt zodra zij de deur opendoen.

In voorbeeld 3 komt het vuur uit een van de slaapkamers aan zijde A. Het is sneller om het water door het slaapkamerraam aan te brengen, dan eerst door het huis te navigeren – ongeacht hoe het huis is ingedeeld en ongeacht de omstandigheden in het huis.

In voorbeeld 4 is bij de voordeur rook zichtbaar en bij het keukenraam aan zijde C vuur. Als een snelle uitvoering mogelijk is, zou het efficiënter kunnen zijn om water aan te brengen vanaf de voordeur of door een binneninzet, dan de brandslang buitenom naar de achterkant van het huis te leiden. Als het vuur door de open voordeur niet zichtbaar is en de weg naar de brand is niet bekend, dan is het beter om wel naar de achterkant van het huis te gaan en water op het vuur te brengen door het raam, waar het vuur zichtbaar is en de brandhaard direct kan worden bereikt.



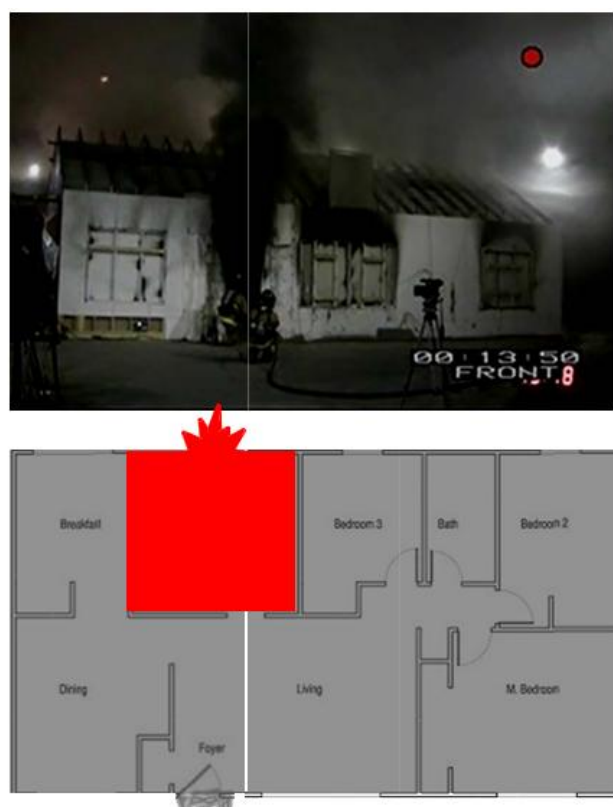
Figuur 4.23: Bungalow voorbeeld 1



Figuur 4.24: Bungalow voorbeeld 2



Figuur 4.25: Bungalow voorbeeld 3



Figuur 4.26: Bungalow voorbeeld 4

Experiment 14 in het huis van twee verdiepingen is een goed voorbeeld van het verzwakken van een doel in een situatie die normaal gesproken niet in praktijk wordt gebracht door de brandweer. Hier is het vuur zichtbaar op de tweede verdieping aan zijde A (figuur 4.27 en 4.28). Doorgaans wordt de brandslang aan de voorzijde van het huis ingezet voordat een binneninzet plaatsvindt, maar er wordt normaal gesproken geen water op het vuur gebracht voordat het huis wordt betreden. Maar zelfs als de weg naar de brand door het huis heen bekend is, dan is het nog sneller om van buitenaf water op het vuur te brengen dan van binnenuit. De zichtbare vlammen waren in minder dan 5 seconden geblust, door de stoom werd de hoogte van de rooklaag niet verlaagd. En binnen 15 seconden na het opbrengen van water, begon de rook op te trekken en waren de omstandigheden beter.

Een gebruikelijk argument tegen het aanbrengen van water op het vuur voorafgaand aan een binneninzet is de overtuiging dat de omstandigheden voorbij/achter de brand slechter zouden worden. De gegevens van dit experiment toonden iets anders aan. In de hal, vlak buiten de kamer werden de temperaturen gemeten, net als in de andere slaapkamers op de tweede verdieping (figuur 4.29). Zoals is weergegeven in figuur 4.29 bracht 25 gallon<sup>53</sup> water van het plafond van de brandruimte af gericht, de temperatuur binnen 10 seconden naar beneden van 1.792 °F tot 632 °F<sup>54</sup>. De temperatuur in de hal daalde binnen 10 seconde van 273°F naar 104 °F<sup>55</sup>. Figuur 4.30 tot en met 4.33 laten de omstandigheden in het huis zien terwijl er van buitenaf water wordt opgebracht.

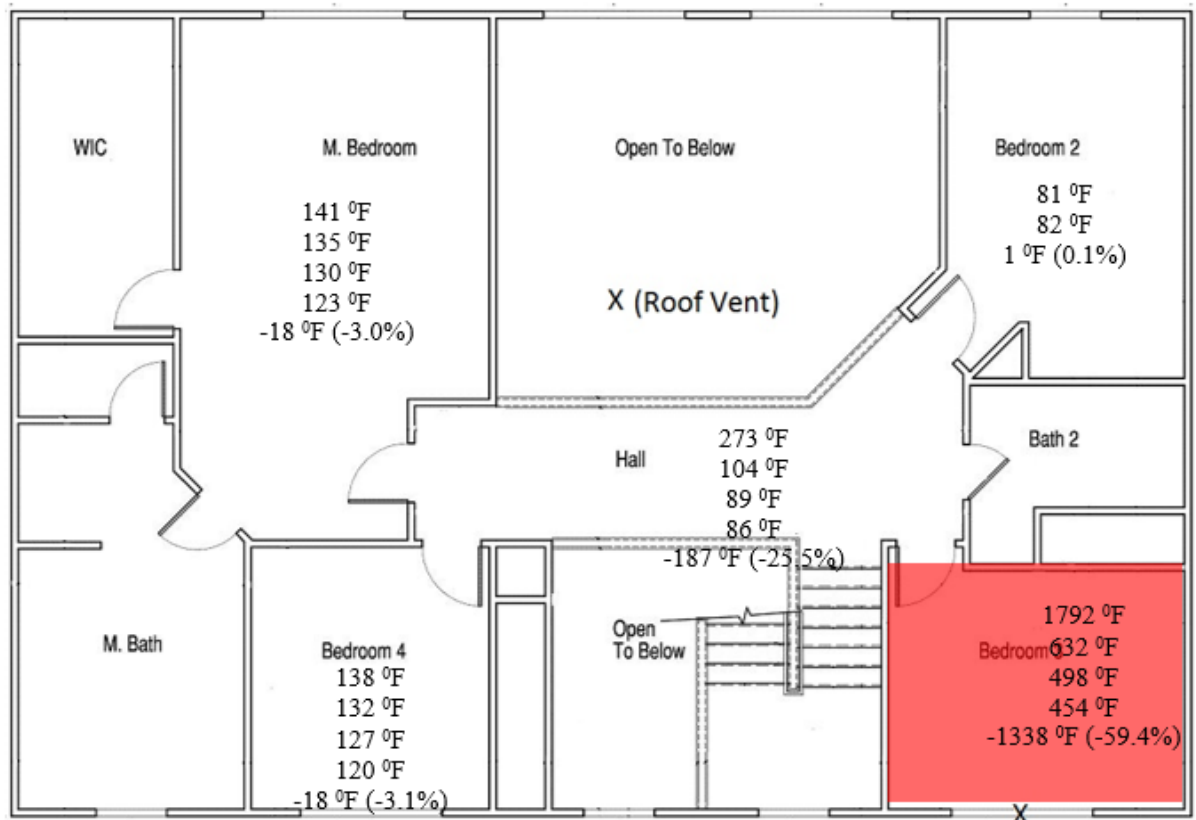


**Figuur 4.27: Omstandigheden voorafgaand aan aankomst** **Figuur 4.28: Water wordt van buiten af aangebracht**

<sup>53</sup> 94,64 liter

<sup>54</sup> 977,78 °C tot 333,33 °C

<sup>55</sup> van 133,89 °C naar 40 °C



Figuur 4.29: Experiment 14, tweede verdieping, rechte straal



**Figuur 4.30** Vlak voor aanbrengen water



**Figuur 4.31:** Na vijf seconden water aanbrengen, zichtbaar gedoofde vlammen



**Figuur 4.32:** Bij het einde van water aanbrengen, stoom verplaatst zich naar de ventilatieopening in het dak



**Figuur 4.33:** Vijftien seconden na water, de rooklaag trekt op

#### **4.11. Vuur duwen is niet mogelijk**

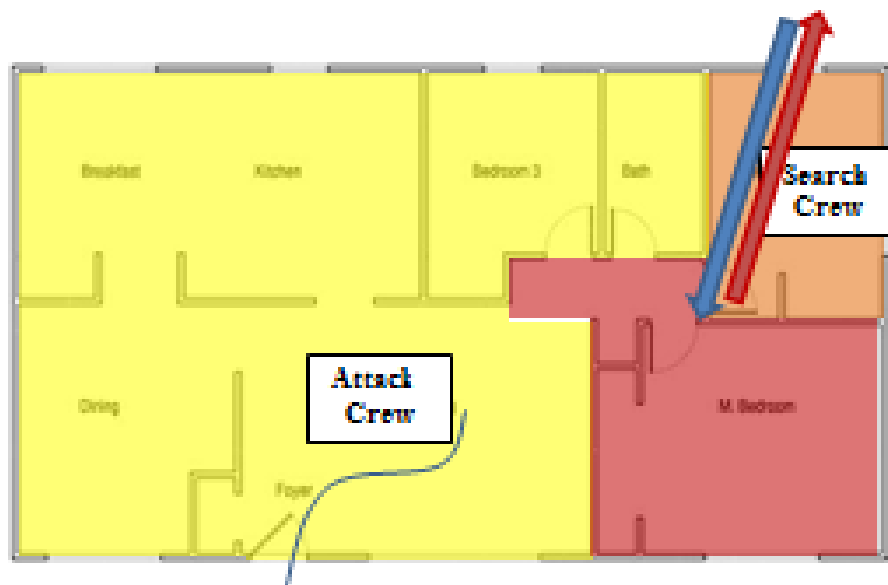
Het is niet mogelijk om met water vuur te duwen. Het eerdere UL-onderzoek naar ventilatie omvatte het concept van duwen van vuur in de gegevensanalyse. Het onderzoek veroorzaakte veel discussie en er kwamen verhalen naar boven van gerespecteerde brandweermensen die het fenomeen van het duwen van vuur hadden meegemaakt, of hadden waargenomen dat het gebeurde. De specifieke branden die de brandweermensen zich herinnerden, werden tot in detail besproken. In veel van die situaties bevonden de brandweermensen zich in het huis en in het stromingspad tegenover de brandslang. In de meeste gevallen deden de beschreven gebeurtenissen zich voor terwijl de aanvalsploeg zich binnen naar voren bewoog, en niet terwijl er van buiten af water op een volledig ontwikkelde brand werd gebracht. Alle experimenten uit het onderzoek waren opgezet om de handelingen en de invloed van de als eerste aanwezige brandweeronderdelen te onderzoeken. Brandweermensen worden niet geadviseerd om zich in het stromingspad tegenover



de brandslang te positioneren. Het kan echter in de praktijk wel gebeuren, dus de ervaringen van deze brandweermensen moeten wel serieus genomen worden. De experimenten simuleerden ook niet dat er binnen in het gebouw water werd opgebracht door een binneninzet met een straal. Er wordt van uitgegaan dat dit bij de meeste branden gebeurt.

Tijdens de besprekingen werden vier gebeurtenissen geïdentificeerd die zouden kunnen zijn waargenomen, en waarbij het leek alsof het vuur werd geduwd:

1) Het stromingspad wordt verlegd met ventilatie en niet met het aanbrengen van water. Wanneer de brandweermensen zich tegenover de straal bevinden, zijn zij het gebouw meestal van een andere kant binnengekomen dan de straal en hebben de deur of het raam achter zich opengelaten. Dit stromingspad voert laag aan de grond lucht mee – daar waar zij kruipen – en hete gassen stromen over hun hoofden heen naar buiten. Als het vuur reageert op de toegevoegde lucht, neemt de verbranding boven hun hoofden toe en kunnen de omstandigheden snel verslechteren. Als een aanvalsploeg zich voorbereidt om naar binnen te gaan, of al binnen is, dan kan de ervaring van de brandweermensen tegenover de straal worden toegewezen aan de straal. Het vuur reageerde echter slechts op de lucht en op het extra stromingspad en niet op de waterstraal. Dit gebeurt vaak bijna tegelijkertijd met het aanbrengen van water en het gebeurt bij afwezigheid van coördinatie (figuur 4.34).



**Figuur 4.34: Hitte ervaren door de ploeg die slachtoffers zoekt als gevolg van ventilatie, niet als gevolg van opbrengen van water**

2) Het stromingspad wordt verlegd met het opbrengen van water. Het openzetten van een brede nevelstraal verandert het stromingspad (figuur 4.35 en figuur 4.36); dit kan ook worden bereikt met een rechte straal waarmee een cirkelvormig patroon wordt getekend (figuur 4.37 tot en met 4.39). Dit kan de thermische laag verstoren en stoom voor de straal uit stuwen. Dat is ook de reden dat brandweermensen deze techniek gebruiken. Als een brandweerman of vrouw zich voor de straal bevindt, kan het lijken alsof het vuur wordt geduwd en alsof de temperaturen stijgen, vooral als zij zich in een koele instroom van een andere ventilatielocatie bevinden.



**Figuur 4.35: Stromingspad voor het aanbrengen van water**



**Figuur 4.36: Nevelstraal sluit stromingspad af**



**Figuur 4.37: Voorafgaand aan water**

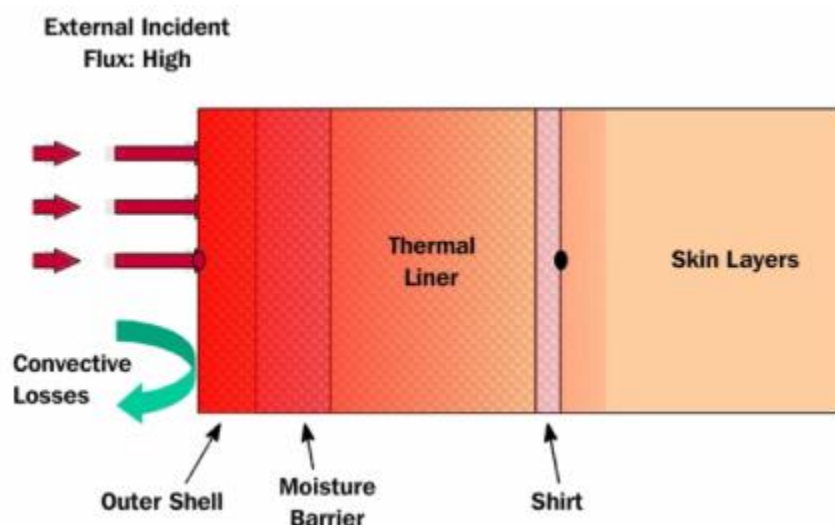


**Figuur 4.38: Gebonden straal die in een cirkelvormig patroon wordt gespoten blokkeert het stromingspad uit de brandruimte**



**Figuur 4.39: Stromingspad hersteld nadat de straal werd afgesloten**

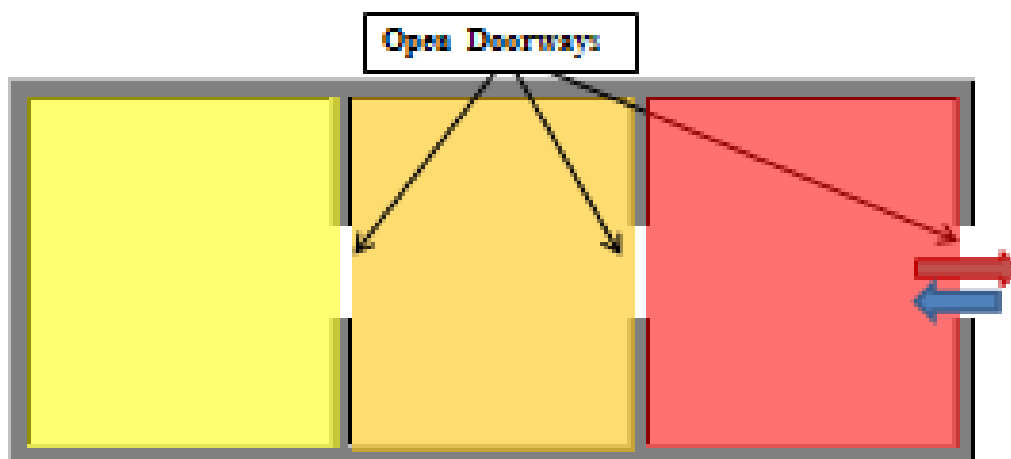
3) Uitrustingspak raakt verzadigd met energie en geeft deze door aan de brandweerman/vrouw. Het is belangrijk dat brandweermensen begrijpen hoe hun uitrusting hen beschermt. Hun uitrusting absorbeert energie om het van de brandweerman/vrouw in de uitrustingspak vandaan te houden. Nadat de uitrusting heeft geabsorbeerd wat mogelijk is, kan extra energie doorstromen naar de lage temperatuur van de brandweerman/vrouw in het kapsel. In sommige gevallen absorberen brandweermensen die zich binnen in een gebouw bevinden deze energie al geruime tijd. Als vrijwel tegelijkertijd met dit verzadigingsmoment een straal wordt opgezet, dan kan dit worden geïnterpreteerd alsof de straal een snelle opwarming veroorzaakt. In feite was het echter zo dat hun uitrustingspak verzadigd was en de hitte erdoorheen begon te komen.



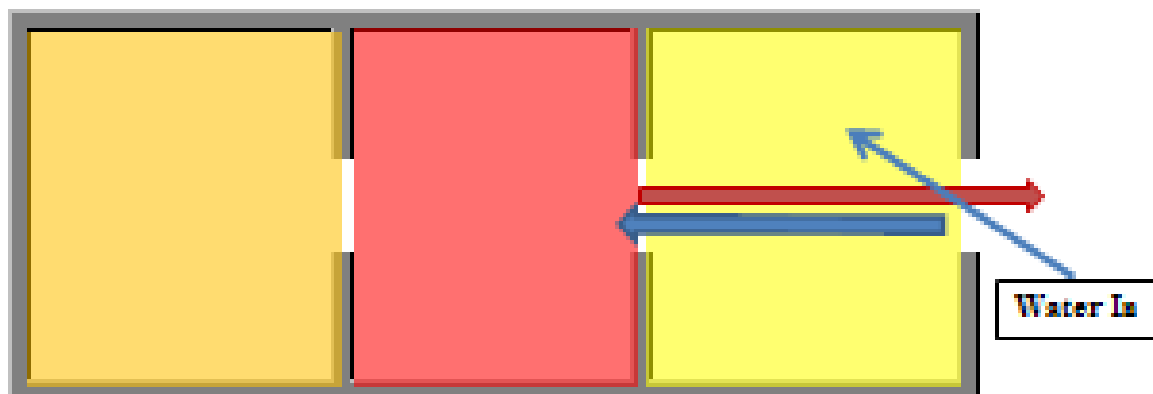
4) Een ruimte is geblust, waardoor lucht naar een andere kamer kan worden meegevoerd, waardoor deze ontbrandt of feller gaat branden. Bepaalde soorten gebouwen zijn zo ingedeeld dat de kamers in een lijn achter elkaar liggen. Dit wordt in het Engels ook wel een *railroad* of *shotgun* lay-out genoemd. In dergelijke gebouwen kunnen meerdere kamers tegelijkertijd in brand staan. Als het vuur in een kamer wordt gedoofd, krijgt de ventilatiebeheerste kamer erachter toegang tot zuurstof die de verbranding stimuleert. Meestal koelt een straal meerdere van deze ruimtes tegelijkertijd. Het kan echter gebeuren dat de deuropeningen niet in een rechte lijn liggen en het water de tweede ruimte niet bereikt.

Figuur 4.40 laat zien hoe een brand ontstond in de middelste ruimte van een flat met deze lineaire indeling en zich uitbreidde naar de kamer rechts door de lucht die door de open deuropening werd aangevoerd. De temperatuur in de kamer links en in de middelste kamer is gezakt doordat er te weinig zuurstof naar deze kamers kan vloeien. In de kamer rechts heeft flashover plaatsgevonden en de vlammen komen uit de deuropening.

Figuur 4.41 laat zien hoe de omstandigheden veranderen als er water in de kamer rechts wordt gebracht. Door het water neemt de verbranding af en kan lucht worden meegevoerd naar de middelste ventilatiebeheerste kamer, waardoor ook hier flashover ontstaat. Dit kan worden geïnterpreteerd alsof de straal de brand naar de middelste kamer duwt. Maar het zijn de stromingspaden die de dynamiek van de brand verklaren, en het is niet de waterstraal die maakt dat in de middelste kamer flashover ontstaat.



Figuur 4.40: Brand in flat met lineaire lay-out voor aanbrengen van water



Figuur 4.41: Brand in flat met lineaire lay-out na aanbrengen van water

#### 4.12. Groot volume, water aanbrengen op dat wat in brand staat

In ruimten met een groter volume – zoals de televisiekamer/grote kamer in het huis van twee verdiepingen – is het van belang om water aan te brengen op dat wat in brand staat. Bij moderne huizen met hoge plafonds en grote kamers, is het volume erg groot. Het blussen gaat bij deze gebouwen niet hetzelfde als bij traditionele huizen met kleinere ramen en een plafondhoogte van 8 voet<sup>56</sup>. Het merendeel van het water dat bij flashover-omstandigheden in een kleine kamer wordt gebracht, zal brandende oppervlakken doven en gassen koelen als het water verandert in stoom. Bij moderne indelingen kan een waterstraal enkele kamers verderop uitkomen, weg van de kamer waar flashover heeft plaatsgevonden. Voor het grootste effect, moet de waterstraal worden gericht op de voorwerpen die in brand staan als dat mogelijk is.

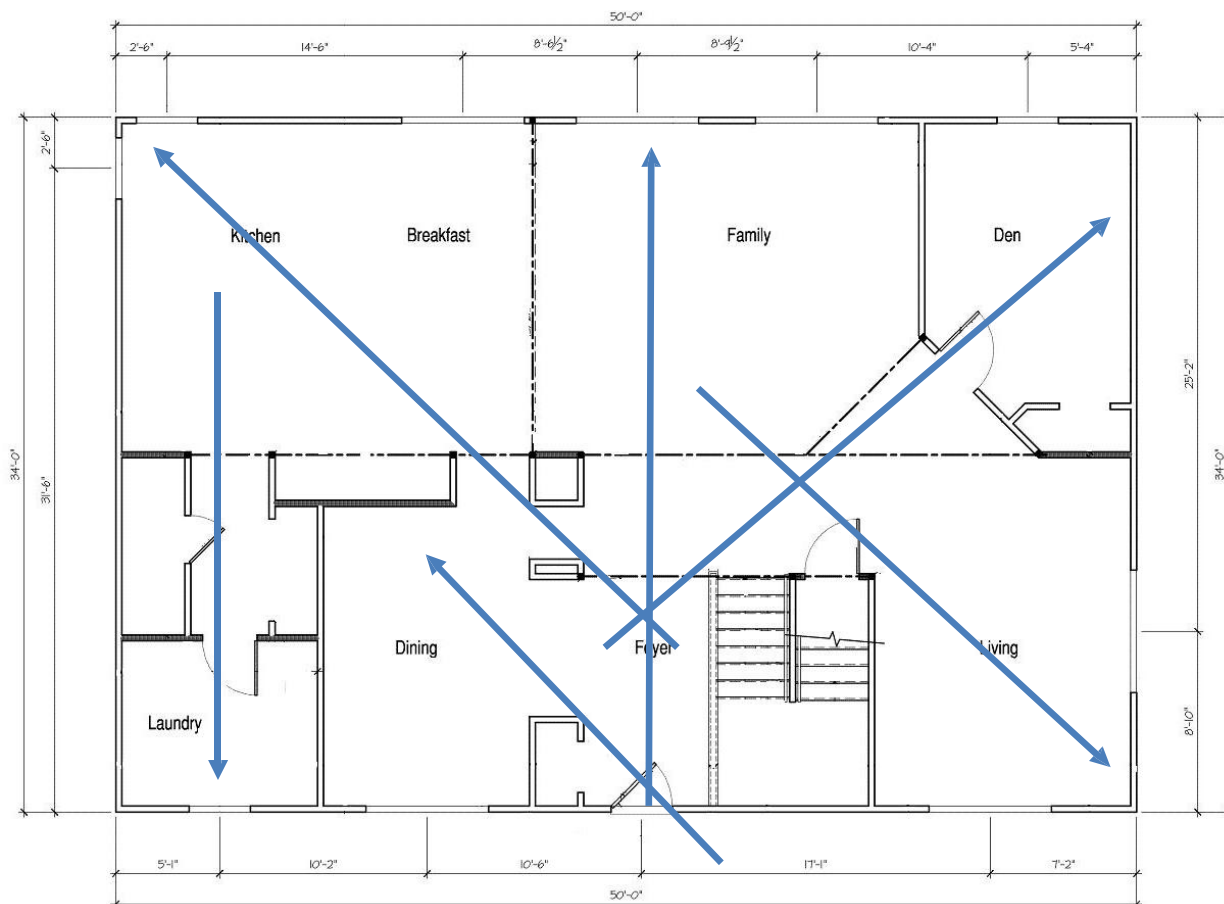
Door dezelfde open indeling kan het water verder stromen dan de brandruimte en kan er ook voor zorgen dat het vuur enkele kamers verderop wordt gedoofd. Bij huizen met een open indeling kan de worplengte van een straal voordelig uitpakken, terwijl bij oudere huizen die meer in kamers zijn verdeeld, deze worplengte niet zo nuttig kan zijn. Met open zichtlijnen die langer zijn dan 35 voet<sup>57</sup>, kan bij de indeling van het huis met twee verdiepingen, het

<sup>56</sup> 2,44 meter

<sup>57</sup> 10,67 meter

water vanaf een afstand van meer dan 20 voet<sup>58</sup> in iedere kamer worden gebracht (figuur 4.42). Hierdoor kan het vuur vanaf een veiliger afstand worden gedoofd, zonder de kamer zelf, of de naastgelegen kamer binnen te hoeven treden om met blussen te beginnen.

Daarnaast kon vanaf de begane grond in iedere slaapkamer op de eerste verdieping water worden gebracht zonder dat de brandweermensen de trap op hoefden.



**Figuur 4.42: Open indeling van huis van twee verdiepingen met bereik van straal**

In experiment 16 waren twee kamers (de keuken en de televisiekamer) bij de brand betrokken toen water werd aangebracht. Toen de vlammen uit het raam van de televisiekamer sloegen, werd gedurende 15 seconden het water bewust op de keukenbrand gericht. Het gebied van de keuken werd hierdoor enigszins gekoeld, maar in de televisiekamer brandde nog steeds een volledig ontwikkelde brand waardoor de temperaturen in de rest van het huis hoog bleven. Toen de straal op de televisiekamer werd gericht, daalden de temperaturen in het hele huis aanzienlijk.

<sup>58</sup> 6,1 meter

## 5. Samenvatting van de bevindingen

In de afgelopen tientallen jaren heeft zich op het gebied van woningbranden een gestage verandering voltrokken. Deze verandering omvat onder meer: grotere huizen, meer open indelingen en grotere volumes, en een toename van de synthetische vuurlast. UL heeft een reeks van 17 woningbranden op ware grootte uitgevoerd, om deze verandering in brandgedrag en de invloed daarvan op ventilatie- en repressietactieken van de brandweer te onderzoeken. Aan de hand van dit brandonderzoeksproject werden de experimentele gegevens ontwikkeld die nodig zijn om brandgedrag dat met deze scenario's samenhangt, te kwantificeren en zo te komen tot de onmiddellijke ontwikkeling van de benodigde ventilatietechnieken voor de brandweer om het aantal doden en gewonden onder brandweermensen terug te dringen.

De vuurlasten die voor deze experimenten werden gebruikt, produceerden ongeveer 9 tot 10 megawatt, wat genoeg energie was om de gewenste ventilatiebeheerste omstandigheden in beide huizen te creëren. De slaapkamers en woonkamers hadden een vuurlast tussen de 2 Engelse pond per vierkante voet<sup>59</sup> en 4 Engelse pond per vierkante voet<sup>60</sup>. De keukens hadden een vuurlast tussen de 4 Engelse pond per vierkante voet<sup>61</sup> en 5 Engelse pond per vierkante voet<sup>62</sup>. Dit kan worden beschouwd als een lage vuurlast in vergelijking met echte huizen, waar meer “rommel” aanwezig is. Desondanks werden ventilatiebeheerste omstandigheden gecreëerd en een extra vuurlast zou het vuur alleen maar langer hebben laten branden. Daarnaast blijft de warmteafgifte en de totale hitte die vrijkwam door de vuurlast in de woonkamer binnen 10% van die van de vuurlast in het vorige onderzoek naar horizontale ventilatie. Zo kunnen de experimenten voor verschillende scenario's voor horizontaal en verticaal ventileren worden vergeleken. Het verdubbelen van het volume van de brandruimte door het plafond te verhogen en tegelijkertijd dezelfde mate van ventilatie te behouden, leidt niet tot een belangrijke vertraging van de tijd tot flashover als gevolg van de snelle toename van warmteafgifte die voorafgaand aan flashover plaatsvindt. Bij alle experimenten ging de kamerbrand over in flashover tussen 5:00 en 5:30 na ontsteking.

In deze reeks experimenten bleek dat het beperken van de luchttoevoer naar de brand een belangrijke overweging was voor ventilatiebeheerste branden. In de experimenten waarbij de deur werd geopend om toegang te verschaffen en daarna gesloten tot de breedte van een brandslang, vertraagde de groei van de brand, waardoor de temperaturen in het huis lager bleven en de gasconcentraties beter dan wanneer de deur volledig werd geopend. Hierdoor kan de brandweer ingrijpen in de brand als deze minder warmte afgeeft waardoor hij makkelijker te blussen is.

Er werden bij deze experimenten geen ventilatieopeningen gebruikt (4 voet bij 4 voet of 4 voet bij 8 voet)<sup>63</sup> die de uitbreiding van de brand vertraagden. Bij alle verticale ventilatieopeningen werd sneller flashover en een volledig ontwikkelde brand bereikt. Er konden echter – zodra water op het vuur was aangebracht – meer verbrandingsproducten uit het gebouw worden gestoten naarmate de opening groter was en zich dichterbij het vuur bevond. Hierdoor daalden de temperaturen en werd het zicht beter.

---

<sup>59</sup> 0,91 kilogram per 0,9 vierkante meter

<sup>60</sup> 1,81 kilogram per 0,9 vierkante meter

<sup>61</sup> 1,81 kilogram per 0,9 vierkante meter

<sup>62</sup> 2,27 kilogram per 0,9 vierkante meter

<sup>63</sup> 1,22 meter bij 1,22 meter of 1,22 meter bij 2,44 meter

Als het gaat om een gecoördineerde aanval, dan is ventileren boven het vuur de beste keuze. Als een ventilatiebeheerste brand lucht krijgt, zal de brand in omvang toenemen. Daarnaast geldt dat hoe dicht de bron van de lucht zich bij de brandhaard bevindt, des te sneller deze in omvang zal toenemen. Als ventilatie plaatsvindt in coördinatie met een aanval op de brand (de straal neemt meer energie weg dan er wordt gegenereerd), dan maakt het niet uit waar ventilatie plaatsvindt; echter hoe dicht bij de brandhaard, des te effectiever zullen hitte en rook door de ventilatieopening worden afgevoerd. Hierdoor verbeteren de omstandigheden voor het vervolg van de operatie op de brandlocatie. Onder bepaalde omstandigheden kan het effectief zijn om te ventileren op een plaats die verder van het vuur is verwijderd. Als het vuur zich in een ruimte bevindt die verbonden is met de rest van het huis middels een deuropening, dan kan het ventileren van het dak buiten die kamer ervoor zorgen dat de rook uit de rest van het huis wordt verwijderd. Terwijl lucht naar de kamer wordt meegevoerd, zal het vuur echter in omvang toenemen, terwijl het zicht in het stromingspad van de instroomopening naar de brandruimte kan verbeteren. De reden dat de brand zich niet ongecontroleerd uitbreidt, is dat de deuropening een beperkende factor wordt om het vuur ingeperkt te houden. Zodra brandstof buiten de deuropening ontvlamt – zoals een brand in de slaapkamer die zich uitbreidt naar het meubilair in de woonkamer – neemt de warmteafgifte snel toe en wordt het tijdelijke voordeel van de op afstand gelegen verticale ventilatieopening tenietgedaan. Verticale ventilatie op enige afstand van de brand kan een voordeel op het gebied van zicht opleveren, maar het vuur en de temperaturen in de buurt van het vuur nemen toe.

Stromingspaden en timing zijn van groot belang voor het begrijpen van de dynamiek van brand en de invloed daarvan op brandweertactieken voor de brandlocatie. Hoe dicht de luchttoevoer zich bij de brandhaard bevindt, des te sneller kan de brand intensiveren. Verscheidene experimenten toonden aan dat een zichtbare brand niet automatisch betekent dat sprake is van een geventileerde brand: het betekent dat de brand zelf ventileert, maar nog steeds wel ventilatiebeheerst is. In ieder experiment brandde het vuur buiten een raam of ventilatieopening in het dak omdat er binnen onvoldoende lucht aanwezig was om te kunnen branden. Het is niet mogelijk om iets te zeggen over de effectiviteit van ventilatie zonder timing daarbij te betrekken en te begrijpen dat hoe groter de afstand die frisse lucht af moet leggen, des te langzamer de brand daarop zal reageren. Maar hoe groter het stromingspad waarbij brandweermensen ingesloten kunnen raken tussen de plaats waar de brand frisse lucht krijgt en waar de brand uitstoot naar lagere druk achter hen, des te groter is de kans dat een snelle verandering tot negatieve resultaten zal leiden.

Het werkterrein van de brandweer is veranderd en een van de vele belangrijke factoren is de woninginrichting. Nu de woninginrichting in de afgelopen tientallen jaren steeds meer uit synthetische materialen bestaat, is de warmteafgifte van het interieur van de woning belangrijk toegenomen. Door deze veranderingen verlopen de verschillende stadia van het brandverloop sneller, waarmee ook de kans groter is dat er ventilatiebeheerste brandcondities ontstaan voordat de brandweer ter plaatse is. Bij deze experimenten duurde het 5 minuten voor door de moderne brandstof in de bungalow ventilatiebeheerste omstandigheden ontstonden. Bij ouderwetse/traditionele brandstof duurde dit ongeveer 18 minuten. Als ventilatiebeheerste brandcondities eerder ontstaan dan zijn de ventilatietactieken van de brandweer van uitermate groot belang. Meest belangrijk is echter dat de tijd tussen ventilatie en flashover 2 minuten bedraagt bij een moderne brand en meer dan 8 minuten bij een ouderwetse brand. Een ouderwetse brand kan daarom worden beschreven als vergevingsgezind daar waar het gaat om ventilatie. Voorafgaand aan flashover kan slecht getimed ventilatie of een ongecoördineerde inzet worden gecorrigeerd omdat daarvoor 8



minuten beschikbaar zijn. Bij een moderne brand bedraagt de tijd voor correctie slechts 2 minuten, of 25% van de tijd die men vroeger had.

Bij ieder experiment ontstond een niet overleefbare situatie in de brandruimte voordat de brandweer arriveerde, met uitzondering van het experiment met ouderwetse brandstof in de bungalow. De meest waarschijnlijke plaats om slachtoffers aan te treffen die nog gered kunnen worden, is achter een gesloten deur. Ieder experiment bevatte een gesloten slaapkamer naast een open slaapkamer. In alle experimenten zou een slachtoffer in de afgesloten kamer hebben kunnen overleven en kunnen blijven functioneren gedurende het experiment, in ieder geval tot nadat de brandweer ter plaatse was gearriveerd. Voor de open slaapkamer geldt een heel ander verhaal. Voordat de brandweer ter plaatse zou zijn geweest of als gevolg van het ventileren van de brand zouden de meeste slachtoffers bewusteloos zijn, als zij al niet zouden zijn overleden. De gemiddelde tijd tot een niet-overleefbare situatie in de open slaapkamer was 7:30 rekening houdend met de temperatuur en koolmonoxideconcentraties, terwijl in de gesloten slaapkamers beide criteria niet werden overschreden tot ruim nadat de brandweer ingreep.

Bij ieder experiment werd van buiten af water op het vuur gebracht, soms door een deuropening en soms door een raam. Het water stroomde gedurende ongeveer 15 seconden, waarmee 25 gallon<sup>64</sup> water in het gebouw werd gebracht. Het vergelijken van de temperaturen net voor het blussen met temperaturen 60 seconden nadat de straal was gestopt, resulteerde in een gemiddelde daling van 40% van de temperatuur in de brandruimte en een daling van 22% van de temperaturen in de omliggende kamers. In bijna alle experimenten werd de overleefbaarheid overal in beide gebouwen beter na het aanbrengen van water in het gebouw, zelfs op plaatsen stroomafwaarts van het vuur in het stromingspad. De gegevens toonden ook de potentiële voordelen aan van het verzwakken van het doel voorafgaand aan een binneninzet; de onmogelijkheid om vuur te duwen, omdat het vuur in geen enkel geval met een straal van de ene kamer in de andere kon worden geduwd; en de voordelen van het aanbrengen van water op de brandhaard bij een groot, open volume.

De dynamiek van de woningbranden is complex en vormt een uitdaging voor de brandweer. Ventilatie is van het grootste belang om een veilige en effectieve uitvoering te garanderen van de missie van de brandweer om levens en eigendommen te beschermen. Verticale ventilatie is met name belangrijk omdat het betekent dat men boven het vuur gepositioneerd moet zijn; daarnaast het een snelle invloed hebben op de brandomstandigheden binnen. Aan de hand van dit onderzoek zijn experimentele gegevens over brand ontwikkeld om brandgedrag te laten zien dat het gevolg is van verschillende ontstekingslocaties en ventilatieopeningen in ouderwetse/traditionele woongebouwen afgezet tegen hedendaagse woongebouwen. Deze gegevens zullen worden verspreid zodat de brandweer voorlichting en richtlijnen krijgt voor een juist gebruik van ventilatie als brandweertactiek, hetgeen zal leiden tot een afname van het risico op verwondingen en dodelijke slachtoffers onder brandweermensen door het onjuist gebruik van ventilatie. Daarnaast kunnen brandweermensen meer inzicht krijgen in de relatie tussen ventilatie- en repressieoperaties.

---

<sup>64</sup> 94,64 liter

## 6. Literatuur

- Fahy, F., LeBlanc, P., & Molis, J. (2007). *What's Changed in the Past 30 Years*. Quincy: NFPA.
- Gann, R. a. (2008). Combustion products and their effects on life safety. In *The Fire Protection Handbook*. Quincy, MA: NFPA.
- ISO 13571. (2012). *Life-threatening components of fire – Guidelines for the estimation of time to compromised tenability in fires*. ISO.
- Karter, M. (2012). *Fire Loss in the United States during 2011*. Quincy: NFPA.
- Kerber, S. (2010). *Impact of Ventilation on Fire Behavior in Legacy and Contemporary Residential Construction*. Northbrook: Underwriters Laboratories.
- Kerber, S. (2012). Analysis of Changing Residential Fire Dynamics and its Implications on Firefighter Operational Timeframes. *Fire Technology*, 865-891.
- Kerber, S. (2012). Analysis of One and Two-Story Single Family Home Fire Dynamics and the Impact of Firefighter Horizontal Ventilation. *Fire Technology*.
- Michael J. Karter, J., & Molis, J. L. (2010). *U.S. Firefighter Injuries - 2009*. Quincy: NFPA.
- National Fallen Firefighters Foundation. (2005). *National Fire Service Research Agenda Symposium*. Emmitsburg: NFFF.
- National Firefighter Near Miss Reporting System. (2009). *Lightweight construction Reports*. Washington D.C.: IAFC.
- NFPA. (2013). *NFPA 1981: Standard on Protective Ensembles for Structural Fire Fighting and Proximity Fire Fighting*. Quincy, MA: National Fire Protection Association.
- NIOSH. (1998). *Commercial Structure Fire Claims the Life of One Fire Fighter—California*. Morgantown: NIOSH.
- NIOSH. (2005). *Career Fire Fighter Dies and Two Career Captains are Injured While Fighting Night Club Arson Fire - Texas*. Morgantown: NIOSH.
- NIOSH. (2008). *A Volunteer Mutual Aid Captain and Fire Fighter Die in a Remodeled*. Morgantown: NIOSH.
- NIOSH. (2008). *Volunteer Fire Fighter and Trapped Resident Die and a Volunteer Lieutenant is Injured following a Duplex Fire - Pennsylvania*. Morgantown: NIOSH.
- NIOSH. (2009). *Nine Career Fire Fighters Die in Rapid Fire Progression at Commercial Furniture Showroom – South Carolina*. Morgantown: NIOSH.
- NIOSH. (2010). *NIOSH Alert: Preventing Deaths and Injuries of Fire Fighters using Risk Management Principles at Structure Fires*. Morgantown: NIOSH.

## UL FIREFIGHTER SAFETY RESEARCH INSTITUTE

UL's Fire Fighter Safety Research Institute streeft naar het vergroten van kennis bij de brandweer met het doel doden en gewonden onder brandweermensen en in de gemeenschappen die zij dienen, terug te dringen.

FSRI voert in samenwerking met de brandweer, onderzoeksafdelingen en instellingen de allernieuwste brandonderzoeken uit en stelt de resultaten daarvan breed beschikbaar aan de brandweergemeenschap wereldwijd.

Met een team van vooraanstaande experts en toegang tot UL's eerste klas infrastructuur, instrumenten en uitgebreide kennis en inzichten, biedt FSRI de meeste moderne onderzoeks- en trainingsprogramma's aan op het gebied van de veranderende dynamiek van woningbranden, commerciële en industriële branden en de invloed die zij hebben op de brandweertactieken en strategieën.

Bezoek onze website:  
[ULfirefightersafety.com](http://ULfirefightersafety.com)

Vind ons leuk:  
[facebook.com/ULfirefightersafety](https://facebook.com/ULfirefightersafety)

Volg ons:  
[twitter.com/UL\\_FSRI](https://twitter.com/UL_FSRI)  
E-mail:  
[fsri@ul.com](mailto:fsri@ul.com)

