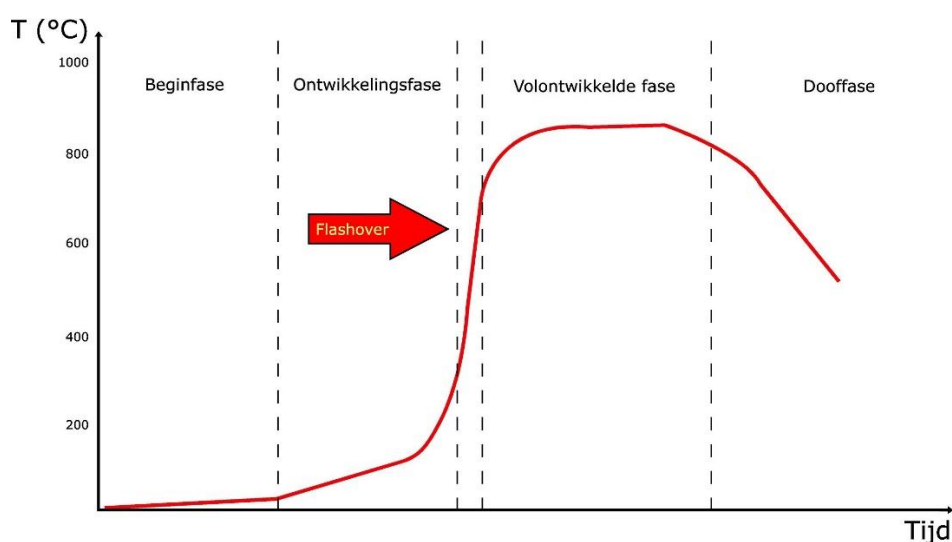


Brandgedrag in meerdere kamers

1 Inleiding

Elke brandweermens kent de curve in figuur 1. Deze curve stelt een manier voor waarop een brand zich kan gedragen in een gebouw. Opdat deze curve tot stand komt zijn er een aantal voorwaarden die vervuld moeten zijn:

- Er moet voldoende brandstof zijn in de ruimte.
- De brandstof moet zo gepositioneerd zijn dat een brand kan ontstaan waarvan het vermogen (of de *heat release rate*) hoger oploopt dan het vermogen nodig om flashover te laten optreden in de ruimte.
- Er dient voldoende lucht (ventilatie) beschikbaar te zijn om de brand toe te laten dit vermogen te ontwikkelen.



figuur 1 De geventileerde brandcurve (Figuur: Karel Lambert)

Niet alle brandweermensen beseffen echter goed dat de curve hierboven een evolutie van de temperatuur in functie van de tijd toont terwijl in de voorwaarden hierboven sprake is van vermogen. In het artikel *De brandcurve anders bekeken* werd de brand voorgesteld als een tijdvermogenscurve [2]. De impact van verschillende variaties (ventilatie, brandlast) op het ontwikkelde vermogen werd bekeken.

Deze curve heeft betrekking op het verloop van de brand in één enkele ruimte. *Hoe gedraagt een brand zich dan als er meerdere ruimtes aan te pas komen?*

In dit artikel wordt de focus gelegd op het gedrag van brand in meerdere ruimtes. Het artikel zal niet volledig zijn en heeft ook niet die ambitie. De focus ligt op een brand die start in één ruimte en die zich vervolgens via een deuropening verspreidt naar een tweede ruimte.

2 Het draait allemaal om de rook

Bij elke brand wordt rook gevormd. Deze rook speelt een cruciale rol bij de verspreiding van brand. De rookverspreiding zorgt voor drie zaken die een zorg zijn voor de brandweer:

1. Verspreiding van energie
2. Verspreiding van brandstof
3. Verspreiding van toxiciteit

Hieronder worden de rookverspreiding en de drie gevolgen ervan in detail besproken.

2.1 Rookverspreiding

Bij een brand ontstaat rook. Rook bestaat uit roetdeeltjes, aerosolen en gassen. Het grootste gedeelte van de rook bestaat uit lucht. *Hoe komt dat eigenlijk?*

Rook wordt lokaal ter hoogte van de brandhaard geproduceerd. Een groot deel van de energie (de warmte) die vrijkomt bij de brand, wordt gebruikt om de rook op te warmen. Het vermogen van de brand speelt dus een belangrijke rol bij de rookverspreiding: hoe meer vermogen geproduceerd wordt, hoe meer "kracht" er als het ware is om de rook weg te duwen. De begintemperatuur van de rook hangt af van de hoeveelheid lucht die tot de brandhaard kan toetreden. De omtrek van de brand speelt daarbij een belangrijke rol. Hoe groter de omtrek van de brand is, hoe meer lucht kan toetreden. Bij een constant vermogen zal de temperatuur van de rook die opstijgt van de brandhaard lager zijn bij een grotere omtrek.

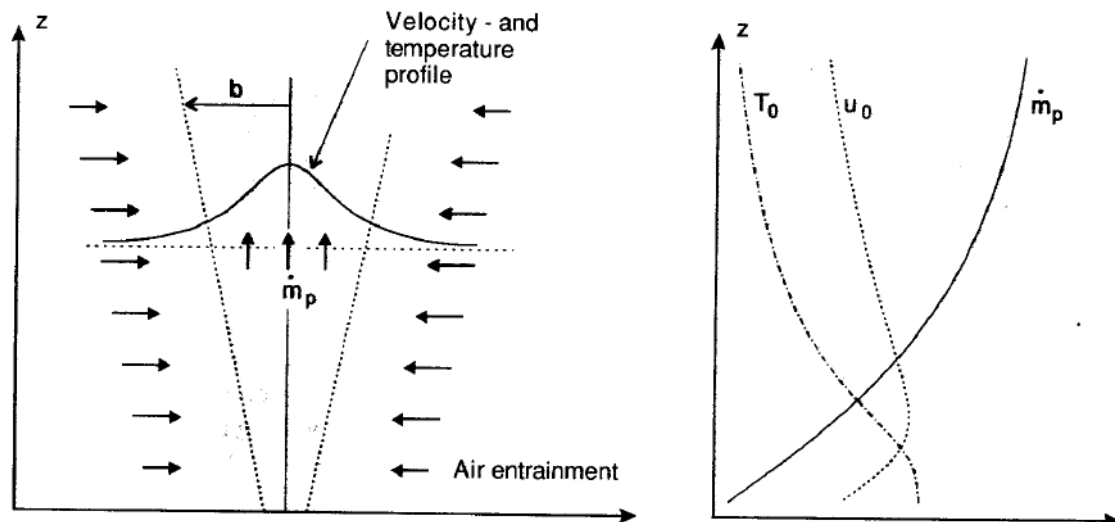
Doordat de rook warmer is dan de omgevingslucht, stijgt hij op. Dit effect is het principe waarop luchtballonnen gebaseerd zijn: warme lucht stijgt. Echter, in een luchtballon zit de warme lucht opgesloten in een ballon. De warme lucht kan zich niet vermengen met de koude omgevingslucht.

Bij rook ligt dat enigszins anders. De rook stijgt op en naarmate de rook hoger komt, wordt er meer en meer lucht ingemengd in de rookpluim. Hierdoor gebeuren een aantal dingen:

- De temperatuur van de rook neemt af. De oorspronkelijk hete rook wordt immers vermengd met de koude omgevingslucht.
- Hierdoor neemt het temperatuurverschil met de omgevingslucht af en zal de rook minder snel opstijgen dan ervoor.
- De massa van de rook neemt toe. Er is immers een gedeelte lucht bijgemengd in de rook.

De temperatuur van de rook, de stijgsnelheid en de massa van de rook veranderen dus naarmate de rook hoger stijgt (zie figuur 2).





figuur 2 Een schematische voorstelling van een rookpluim. Naarmate de rookpluim hoger komt, wordt ze breder. De temperatuur en de snelheid zijn het hoogst in het midden en nemen af naar de zijkant van de pluim. De temperatuur (T) en de snelheid (u) nemen af naarmate de rook opstijgt. De massa (m) neemt toe. (Figuur: [7])

Elke brandweermens weet dat bij een brand in een lokaal eerst een rookpluim en vervolgens een rooklaag gevormd worden. De rookpluim botst namelijk tegen het plafond en daarna zal de rook zich horizontaal gaan voortbewegen. De rook zal verder uitspreiden tot deze op een muur botst. De wanden van het lokaal begrenzen de rooklaag. De rooklaag zal vervolgens dikker worden (= naar beneden uitzakken).

Een effect hiervan is dat de verticale afstand die de rook aflegt van de brandhaard tot de rooklaag afneemt. Dit betekent dat er minder lucht kan ingemengd worden in de rookpluim. Hierdoor zal de rookpluim minder afkoelen en stroomt de rook met een hogere temperatuur de rooklaag in.

De hoogte van een lokaal speelt dus ook een belangrijke rol. In een hal van acht meter hoog, zal de rookpluim gedurende 8 meter afkoelen vooraleer in de rooklaag terecht te komen. De dikte van de rooklaag zal dan weer mee bepaald worden door de oppervlakte van het lokaal. De oppervlakte van het lokaal bepaalt immers hoeveel rook er kan opgeslagen worden in de rooklaag. Bij een groter lokaal zal het langer duren om de rooklaag van één meter dik op te bouwen. Een groot, hoog lokaal vormt met andere woorden een soort van buffer voor de rook.

Openingen in de wanden spelen hier ook een rol. Indien een raam open staat, dan zal de rook naar buiten beginnen stromen zodra de rooklaag lager komt dan de bovenkant van het raam. Vanaf dat moment zal er zowel rook instromen in de rooklaag (via de rookpluim) als er zal uitstromen (via het raam). Er zijn dan – theoretisch – drie mogelijkheden:

1. Er stroomt meer in de rooklaag dan eruit. De rooklaag zal blijven zakken
2. Er stroomt exact even veel in de rooklaag dan eruit. De hoogte van de rooklaag zal constant blijven.

- Er stroomt minder in de rooklaag dan eruit. De dikte van de rooklaag zal afnemen. Dit kan als bijvoorbeeld als rookluiken geopend worden in het plafond bij een brandstof gecontroleerde brand.

Er zijn dus heel wat parameters die bepalen hoe de rookpluim en de rooklaag zich zullen gedragen:

- Het vermogen van de brand
- De omtrek van de brand
- De hoogte van de ruimte
- De oppervlakte van de ruimte
- Aanwezigheid van openingen

Brand vormt een zeer complex systeem waarbij alles continu evolueert.

De rookpluim vormt de verbinding tussen de brandhaard en de rooklaag. Doorheen de rookpluim stromen brandstof, energie en giftige stoffen de rooklaag in.

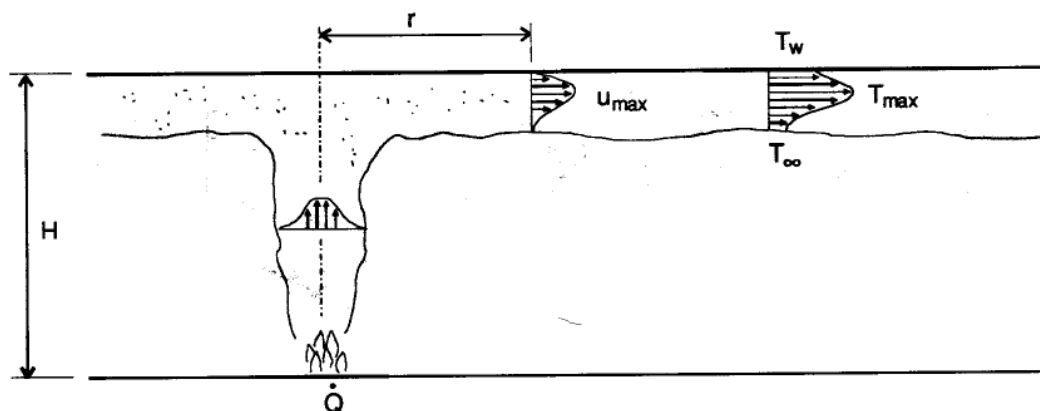


FIGURE 4.17 An idealization of the ceiling jet flow beneath a ceiling.

figuur 3 De voorstelling van een rookpluim die de rooklaag instroomt. In de rooklaag ontstaat een stroming (de "ceiling jet"). Deze stroming heeft een snelheidsverdeling (u) en een temperatuurverdeling (T). Beide zullen stijgen als het vermogen van de brand stijgt. Beide zullen dalen naarmate de ruimte hoger is. (Figuur: [7])

De rooklaag heeft contact met het plafond en met de wanden. Bij de start van de brand hebben de binnenkanten van die wanden ongeveer dezelfde temperatuur als de omgeving. Zodra ze in contact komen met de warme rook, zullen deze wanden beginnen opwarmen. Een deel van de energie uit de rooklaag wordt overgedragen op de wanden.

Zodra de rooklaag lager komt dan de bovenkant van de deuropening tussen het lokaal waar de brand begonnen is en een naburig lokaal stroomt de rook dat tweede lokaal in. Deze stroom van rook zorgt voor een verplaatsing van energie, brandstof en toxiciteit (giftige stoffen).

2.2 Verspreiding van energie

De rook die doorheen de deur stroomt, zal terug opstijgen tot tegen het plafond. De verschillende opmerkingen over de opbouw van de rooklaag (dikte, temperatuur) in het eerste lokaal zijn hier opnieuw van toepassing.

Deze rooklaag vormt echter een belangrijke bedreiging voor alles en iedereen die zich in het tweede lokaal bevindt. Deze rooklaag zal namelijk energie afgeven aan alle voorwerpen en personen die een lagere temperatuur hebben dan de rooklaag zelf.

Net zoals in het eerste lokaal, zal de rooklaag stralen naar alle objecten die eronder liggen. Deze straling kan behoorlijk oplopen in functie van de temperatuur van de rooklaag. Als de straling voldoende hoog is, zullen objecten onder de rooklaag na verloop van tijd beginnen pyrolyseren. Dit betekent dat de rooklaag ervoor zorgt dat er in het tweede lokaal brandbare gassen gevormd worden.

Een speciale vermelding gaat uit naar brandbare plafond- en wandbekleding. Het plafond staat onmiddellijk in contact met de warme rook. De rook zal het plafond opwarmen door middel van convectie. Dit is een andere manier om warmte over te dragen dan straling. Convectie vereist dat er direct contact is tussen de rook en het koude object. Indien de rook in contact komt met brandbare plafondbekleding (hout of brandbare isolatie) dan kunnen ook daar brandbare gassen gevormd worden. Het pyrolyseren van meubelen onder de rooklaag is misschien nog waar te nemen door tussenkomende brandweermensen. De productie van brandbare gassen in de rooklaag is echter onttrokken aan het oog van een aanvalsploeg en is daarvoor veel verraderlijker.

Uiteindelijk kan de warmte van de rooklaag ervoor zorgen dat er een ontsteking plaatsvindt in het tweede lokaal. Vanaf dan is een tweede flashover in het brandende gebouw niet meer veraf. De tweede flashover zal echter in het tweede lokaal zijn en niet in het eerste. De brand is dan uitgebreid en verdere uitbreiding is mogelijk.

2.3 Verspreiding van brandstof

Doorheen de deuropening stroomt ook gasvormige brandstof de tweede kamer binnen. De omgeving bestond er voor de brand voor 100% uit lucht. Nu stromen brandstofdeeltjes (pyrolysegassen maar ook onvolledig verbrande gassen zoals CO) het lokaal in. Aan het plafond wordt een rooklaag opgebouwd. Dit is eigenlijk een reservoir gasvormige brandstof. Indien er in het tweede lokaal zelf ook zaken beginnen te pyrolyseren, dan komen deze ook in de rooklaag terecht.

Na verloop van tijd zal de rooklaag, al dan niet lokaal, de onderste brandbaarheidsgrens bereiken (zie [8]). In functie van de temperatuur van de rooklaag zal de rook op een bepaald moment tot ontsteking komen. Dit kan op verschillende manieren:

- Uitslaande vlammen doorheen de deuropening
- Dancing angels in de rooklaag
- Rollover in het tweede compartiment



Elk van deze fenomenen heeft brandstof nodig. Vandaar dat de verspreiding van brandstof van het eerste naar het tweede lokaal (en het "produceren" van brandstof in het tweede lokaal) zo belangrijk is.

Elk van deze fenomenen produceert lokaal energie. Daar waar de vlammen zijn, komt warmte vrij. De rooklaag zal (tijdelijk) lokaal opgewarmd worden. Hierdoor zal de warmteoverdracht (via straling en convectie) ook toenemen. Op deze manier ontstaat een zichzelf versterkende cyclus tussen het verspreiden van energie en het verspreiden van brandstof. Een hogere temperatuur leidt tot meer pyrolyse (= meer brandstof). Bij voldoende brandstof kan ontsteking plaatsvinden en dat leidt op zijn beurt terug tot meer energie.

In het artikel *waarom sterven mensen in een brand?* [9] werd uitgelegd dat de hoeveelheid straling evolueert met de vierde macht van de absolute temperatuur. Dit principe leidt ertoe dat (lokale) vlammen 16 keer meer straling afgeven dan rookgassen met een temperatuur van 200 °C. Als delen van de rooklaag ontsteken, wordt de straling plots 16 keer groter.

2.4 Verspreiding van toxiciteit

Het derde probleem dat gepaard gaat met rookverspreiding is de verspreiding van giftige stoffen. Dit is voor brandweermensen geen direct probleem in de zin dat zij over ademlucht beschikken. Ook al loopt de concentratie aan giftige stoffen in de rook aardig op, zolang er lucht in hun fles zit, kunnen ze onbezorgd ademen. Dit geldt echter niet voor aanwezige burgers. Zij kunnen afgeschermd zitten in een ander lokaal. Indien de deur tussen deze twee lokalen open staat, dan zal er met de rook een behoorlijke hoeveelheid giftige stoffen meekomen. Onderzoek van UL wees uit dat dit zeer snel leidt tot dodelijke concentraties. In een woning is de verwachting dat mensen slechts 5 minuten overleven indien ze zich in de ruimte van de brand bevinden.

Mensen die zich echter achter een gesloten deur bevinden, zouden tot een half uur kunnen overleven. De gesloten deur houdt de meeste rookgassen tegen. Dit heeft ook een tactische implicatie voor brandweermensen in een situatie waarbij ze search & rescue uitvoeren tijdens een woningbrand: Als een zoekploeg zich bevindt in een lokaal (bijvoorbeeld een living of een keuken) dat volledig onder de rook staat met zeer beperkte zichtbaarheid, dan moeten ze toch voorzichtig zijn als ze deuren openen. Het is dan immers mogelijk dat ze vanuit de woonkamer (die volledig met rook gevuld is) een deur openen tot een slaapkamer die nog min of meer rookvrij is. Zodra de deur geopend is, zal rook de kamer instromen. In die kamer kan nog een bewust slachtoffer aanwezig zijn. Er is daar immers nog lucht aanwezig van goede kwaliteit. Dit zal snel veranderen eens de barrière voor de rook (de gesloten deur) wegvalt. Het is dan best mogelijk dat de actie van de brandweer een bedreiging vormt voor de gezondheid van de betrokkenen. Dit is net het tegenovergestelde van het doel van search & rescue.

Als een zoekploeg vaststelt dat ze een deur opent die toegang geeft tot een ruimte die nog rookvrij is, dan is het misschien een goed idee om deze deur onmiddellijk terug te sluiten. Eventuele aanwezigen in deze ruimte hebben worden waarschijnlijk (nog) niet bedreigd door de effecten van de brand. Het is dan zeker een optie om de betrokkenen in die ruimte te laten, eventueel met een brandweermens die hen gezelschap houdt om hen gerust te stellen. In tussentijd kan de brand neergeslagen worden en kan de meeste rook met behulp



van overdrukventilatoren verwijderd worden. Op die manier kunnen de betrokkenen geëvacueerd worden doorheen een ruimte waaruit de meeste rook is verdwenen. Het is belangrijk dat de zoekploeg(en) hierover duidelijk communiceren met hun leidinggevenden.

Het zal immers niet altijd mogelijk zijn om mensen gedurende lange tijd in een compartiment te laten. Soms duurt het een hele tijd alvorens de brand onder controle kan gebracht worden. Dan komt er steeds meer rook in de naburige lokalen terecht. Dit is ook zo indien er een (brand)deur tussen deze twee lokalen staat. Een deur zal namelijk niet alle rook tegenhouden. De meeste branddeuren zijn niet rookdicht. In Brussel deed de volgende situatie zich ooit voor. De brandweer kwam tussen voor een brand in een hoogbouw op de 12^{de} verdieping. Eén appartement stond bijna volledig in lichterlaaie. De brandweer werd geconfronteerd met verschillende problemen (gebrekkige watertoevoer, zeer hoge brandlast waardoor de inkomdeur niet volledig open kon, ...). Hierdoor duurde het zeer lang alvorens de brand onder controle kon gebracht worden. Aan de overkant van de gang zat een moeder met vier kinderen vast in hun appartement. De gang was gevuld met zeer dichte rook. Oorspronkelijk werd geopteerd om het gezin daar de brand te laten "uitzitten". Na 45 minuten was er echter dermate veel rook aanwezig dat ze toch gered moesten worden. Dit gebeurde met behulp van reddingsmaskers (zie figuur 4).

Er bestaan verschillende soorten maskers. Sommige werken met filters, anderen met ademlucht. Indien gewerkt wordt met filtermaskers dient er voldoende zuurstof in de rook te zijn om de mensen veilig te kunnen evacueren. Dat is niet het geval als er met ademlucht gewerkt wordt. Indien de rooktemperatuur beperkt is, dan kunnen reddingsmaskers toelaten dat mensen toch doorheen dikke rook geëvacueerd worden.



figuur 4 Een reddingsmasker dat op het hoofd van een slachtoffer kan geplaatst worden. Dit masker moet voorzien worden van een longenautomaat. Die heeft best een extra lange middendrukslang zodat het slachtoffer en de redder vlot naast elkaar kunnen wandelen. (Foto: Pieter Maes)

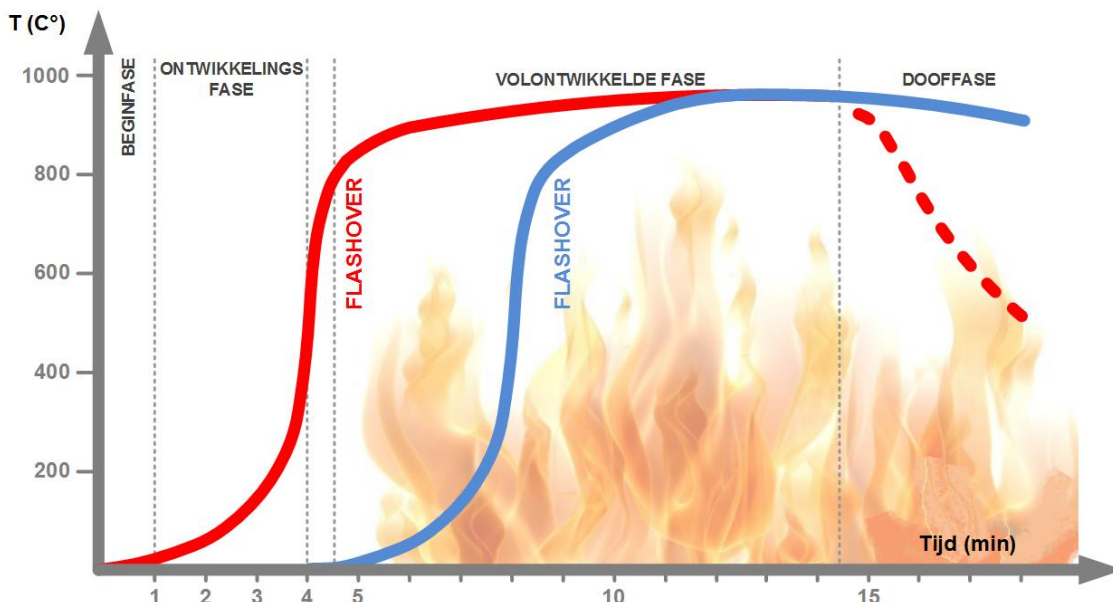
Het is ook mogelijk dat een zoekploeg een deur opent en beseft dat er minder rook in het lokaal zit dat ze gaan betreden dan in het lokaal waar ze vandaan komen maar toch te veel om er zeker van te zijn dat slachtoffers niet in de problemen gaan komen. Het is immers zelden zwart/wit bij brandbestrijding. Zoekploegen zullen dan een snel een inschatting moeten maken en naar best vermogen kiezen welke tactiek ze gaan gebruiken.

3 Tweede lokaal in brand: enkele curves

Brandweermensen kennen het temperatuurverloop van een geventileerde kamerbrand zeer goed. Het is de grafiek die te zien is in figuur 1. *Hoe ziet dat er nu uit als de brand uitbreidt naar een tweede ruimte?*

In figuur 5 wordt het geventileerde verloop uit figuur 1 opnieuw voorgesteld met de rode lijn. Deze rode lijn stelt het brandverloop voor van bijvoorbeeld een slaapkamer. Doordat de deur van de slaapkamer open staat, zullen rookgassen vanuit de slaapkamer naar de naburige kamer stromen (bijvoorbeeld een living). Zodra de rooklaag in de slaapkamer lager komt dan het linteel boven de deuropening, zal deze rookstroom op gang komen. Zoals hierboven beschreven, zal de warme rook de bron zijn van stralingswarmte naar alle objecten onder de rooklaag. De sofa in de woonkamer zal op die manier worden opgewarmd.

Na flashover in de eerste kamer, zullen er uitslaande vlammen zijn doorheen de deuropening tussen de slaapkamer en de woonkamer. De temperaturen aan het plafond in de woonkamer zullen sterk oplopen. Hierdoor loopt ook de straling op (proportioneel met de vierde macht van de absolute temperatuur!). Hierdoor zal een brand starten in de woonkamer. Deze brand wordt voorgesteld door de blauwe curve. Deze curve kent ook een ontwikkelingsfase en kent ook flashover. Het is voor brandweermensen belangrijk om te weten dat twee branden in twee ruimtes elk in een verschillende fase kunnen zitten. De slaapkamerbrand kan volontwikkeld zijn (post-flashover) terwijl de brand in de woonkamer nog in de ontwikkelingsfase zit (pre-flashover). Een volontwikkeld brand in een kamer betekent niet dat er geen flashover meer kan optreden in een andere kamer. Lees: tijdens de vordering naar de volontwikkeld brand, kan in de kamer waarlangs de aanval uitgevoerd wordt, flashover optreden.

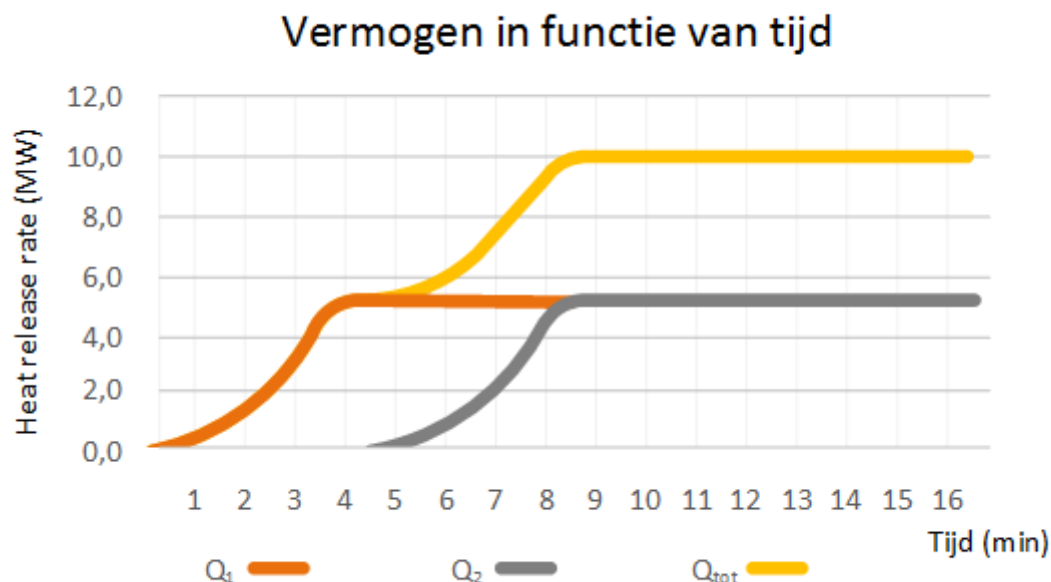


figuur 5 Brandverloop in meerdere ruimtes. De rode curve stelt het brandverloop voor in de ruimte waar de brand ontstaat. Tijdens de volontwikkeld fase slaan vlammen doorheen een deur naar buiten. De vlammen komen dan in de tweede ruimte terecht. De warmtestraling van de vlammen zal uiteindelijk zorgen voor een secundaire brand (de blauwe curve). Na enkele minuten evolueert die ook tot flashover. (Tekening: Bart Noyens & Karel Lambert)

Na verloop van tijd zal de brandlast in de eerste kamer op geraken. De intensiteit van die brand zal afnemen. De dooffase treedt in. De brand in de woonkamer is echter nog volop bezig. Die brand zit nog in de volontwikkelde fase. Opnieuw gedragen de twee branden zich fundamenteel anders (en zullen ze er ook anders uitzien).

Het is ook mogelijk om te kijken naar het HRR-verloop, het verloop van het vermogen opgebouwd tijdens de brand. Die curves zien er fundamenteel anders uit dan de curves in figuur 5. Het belangrijkste verschil zit hem in het volgende: twee temperaturen mag je niet zomaar optellen, twee vermogens wel.

In figuur 6 geeft de oranje curve weer hoe het vermogen van de brand (*de heat release rate*) in de slaapkamer (de rode curve in figuur 5) evolueert tijdens de beginfase, de ontwikkelingsfase en de volontwikkelde brand. De dooffase wordt niet weergegeven. De evolutie van het vermogen wordt vereenvoudigd weergegeven. Eens de brand volontwikkeld geworden is, blijft het vermogen constant. De brand is immers ventilatie gecontroleerd geworden en het vermogen wordt gecontroleerd door de hoeveelheid ventilatie die kan instromen.



figuur 6 Een vereenvoudigde voorstelling van de opgebouwde vermogens tijdens een kamerbrand die uitbreidt naar de slaapkamer. Twee vermogens kunnen wel bij elkaar opgeteld worden. (Figuur: Bart Noyens & Karel Lambert)

De grijze curve geeft de vermogensopbouw in de tweede kamer weer (de blauwe curve in figuur 5). Ook hier blijft het ontwikkelde vermogen constant na de flashover. De tekening is niet helemaal accuraat. In realiteit is immers te verwachten dat flashover in de woonkamer een effect zal hebben op het vermogen van de eerste brand. Een (groot) deel van de zuurstof nodig voor de verbranding in de slaapkamer zal immers opgebruikt worden door de brand in de woonkamer. Dit mechanisme wordt hier echter buiten beschouwing gelaten.

De gele curve heeft het totale opgebouwde vermogen weer. De gele curve is de som van de andere curves. Als de beide branden elk 5 MW aan vermogen produceren, dan wordt in totaal 10 MW aan vermogen geproduceerd.

Hoewel temperatuur de grootte is waarmee mensen het best vertrouwd zijn, wordt onze bluskracht uitgedrukt in vermogen. Het is belangrijk voor onze veiligheid dat we altijd over meer bluskracht beschikken dan de brand aan vermogen ontwikkelt.

4 Afsluitende beschouwing

Brandgedrag in één ruimte is vrij goed gekend door de brandweer. De regels waaraan een brand zich moet houden bij brandgedrag in meerdere ruimtes zijn veel complexer. In dit artikel is een poging gedaan om de belangrijkste regels vereenvoudigd weer te geven. Het is echter niet de ambitie van dit artikel om hierover volledig te zijn. De lezer moet dus goed beseffen dat er hier en daar vereenvoudigingen gebruikt zijn en dat de realiteit nog complexer in elkaar zit dan hier werd weergegeven.

5 Bronnen

- [1] *Lambert K & Baaij S (2018) Brandverloop: technisch bekeken, tactisch toegepast; 2nd edition, Sdu, Nederland*
- [2] *Lambert K (2019) De brandcurve anders bekeken, De BrandweerM/V, mei 2019*
- [3] *CFBT-BE (2019) Bijscholing instructeurs Attack Cell 2019*
- [4] *Drysdale D (1999) An introduction to fire dynamics, 2nd edition, John Wiley & sons, England*
- [5] *Merci B (2010) Active fire protection II: smoke and heat control, postgraduate studies in fire safety engineering, Universiteit Gent.*
- [6] *Merci B (2011) Fire dynamics, postgraduate studies in fire safety engineering, Universiteit Gent.*
- [7] *Karlsson B, Quintiere J (2000) Enclosure fire dynamics, CRC press*
- [8] *Lambert K (2016) Brandbaarheidsgrenzen, De BrandweerM/V, november 2016*
- [9] *Lambert K (2019) Waarom sterven mensen in een brand, De BrandweerM/V, maart 2019*

Karel Lambert

