

Verbetering brandveiligheid: gebruik brandkrommen in Nederland

Versie: 441N7001/1.0; mei 2009

Nederlands Instituut Fysieke Veiligheid *Nibra*
Postbus 7010
6801 HA Arnhem
T 026 355 24 00
F 026 351 50 51
info@nifv.nl

Colofon

| | |
|---------------------------------------|--|
| Subsidiegever: Koninkrijksrelaties | Ministerie van Binnenlandse Zaken en |
| Contactpersoon: | drs. S. Berk – mw. H. de Goeijen-Kroon |
| Titel: | Verbetering brandveiligheid: gebruik brandkrommen |
| Datum: | mei 2009 |
| Status: | definitief |
| Versie: | 1.0 |
| Projectnummer: | 441N7001 |
| Auteurs: | ing. R. van den Dikkenberg MCDM drs. C. Tonnaer |
| Review: | drs. E. Oomes (lector Brandweerkunde NIFV) drs. M. Kobes (onderzoeker) ing. J. Weges (onderzoeker) |
| Eindverantwoordelijke: | dr. ir. J. Post (manager afdeling Onderzoek NIFV). |

Samenvatting

In het oorspronkelijke projectvoorstel 'Verbetering brandveiligheid' werd gesproken over het ontwikkelen van nieuwe, gevalideerde brandkrommen. In de loop van het project hebben de betrokken onderzoekers echter geconstateerd dat het weinig zinvol is om nieuwe brandkrommen te gaan ontwikkelen voordat in kaart gebracht is welke modelmatige benaderingen van brandverloop er momenteel gebruikt worden en wat de achtergrond van die modellen is. Daarom is er besloten om eerst een meer inventariserend onderzoek te doen. Hierin wordt ingegaan op de volgende vragen:

1. Welke (belangrijkste) modelmatige benaderingen van het brandverloop worden in Nederland gebruikt?
2. Wat bepaalt de schadelijkheid van brand?
3. Waarvoor worden deze modellen toegepast?
4. Wat is de kennisbehoefte ten aanzien van brandmodellen?
5. In hoeverre voldoen de modellen aan deze kennisbehoefte?
6. Wat kan er gezegd worden over de waarde van de modellen voor de toepassing waarvoor ze gebruikt worden?

De vragen worden in deze studie als volgt beantwoord:

Ad 1: De modellen die in Nederland gebruikt worden zijn onder te verdelen in vier hoofdcategorieën:

- a) de standaard brandkromme en andere NEN-brandkrommen;
- b) 'natuurlijke' brandkrommen;
- c) het normatief brandverloop;
- d) overige modellen.

De meeste modellen gaan in op temperatuursontwikkeling ten opzichte van de tijd, sommige modellen gaan uit van hittestraling ten opzichte van de tijd. Een enkel model behandelt de rookontwikkeling ten opzichte van de tijd.

Ad 2: Brand is een complex verschijnsel. Temperatuur en hittestraling, in relatie tot het aanwezige brandbare materiaal, bepalen hoe het vuur zich ontwikkelt. De temperatuur en de hittestraling zijn ook van grote invloed op de veiligheid van mensen en dieren die in de nabijheid van de brand verkeren. Daarnaast tast zowel het vuur als ook de temperatuur en de hittestraling de constructie van het pand aan waardoor deze kan bezwijken. Zodoende hebben temperatuur en hittestraling ook indirect invloed op de veiligheid van aanwezige mensen en dieren. Daarnaast kennen panden vaak een inboedel met een economische en eventueel een culturele of emotionele waarde. Deze inboedel kan door het vuur verteerd worden, beschadigd raken door temperatuur of hittestraling of beschadigd raken door instortende gebouwdelen. Naast temperatuur en hittestraling zorgt rook voor grote schade aan de inboedel en aan de veiligheid en de gezondheid van aanwezige mensen en dieren. In welke mate dat het geval is, is afhankelijk van het brandbare materiaal en de volledigheid van de verbranding. Dat bepaalt immers de soort en de hoeveelheid schadelijke stoffen en roet die vrijkomen bij een brand. De ontwikkeling van rookgassen en de ophoping daarvan kunnen bovendien bijdragen aan de verdere ontwikkeling van de brand.

Ad 3: De modellen worden toegepast voor het stellen van preventieve eisen, repressieve eisen en voor het veilig repressief optreden.

Ad 4: Een inventarisatie onder deskundigen geeft aan dat er in Nederland behoefte bestaat aan modelmatig inzicht in brandverloop met betrekking tot de volgende aspecten:

- ontwikkeling van temperatuur ten opzichte van de tijd bij een brand in de smeulfase;
- ontwikkeling van temperatuur ten opzichte van de tijd bij een ontwikkelde brand;
- vermindering van temperatuur na bereiken hoogste temperatuur;
- ontwikkeling van warmtestraling ten opzichte van de tijd bij een brand in de smeulfase;
- ontwikkeling van warmtestraling ten opzichte van de tijd bij een ontwikkelde brand;
- vermindering van warmtestraling na bereiken hoogste warmtestraling;
- ontwikkeling van zichtvermindering (rookdichtheid) ten opzichte van de tijd;
- rookverspreiding ten opzichte van de tijd;
- ontwikkeling van toxiciteit (samenstelling rook, rookdichtheid en rookverspreiding) ten opzichte van de tijd;
- differentiatie naar type brand;
- differentiatie naar variabelen in de ruimte (interieur, ventilatie, geometrische vorm, isolatiemateriaal).

Ad 5: De gangbare modellen voldoen slechts ten dele aan deze kennisbehoefte. Elk model bevredigt slechts een klein deel van de totale kennisbehoefte. Er bestaat geen 'integraal' model dat alle relevante aspecten van brand behandelt. Geen enkel model gaat in op de toxiciteit van rook.

Ad 6: Elk model beschrijft (op een sterk gesimplificeerde wijze) een klein gedeelte van een omvangrijke en complexe werkelijkheid. Zolang dit onderkend wordt, hoeft het gebruik van de betreffende modellen niet problematisch te zijn. Een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid kan in sommige situaties zeer waardevol zijn. Problematisch wordt het echter wanneer modellen gebruikt worden voor doeleinden waarvoor ze niet oorspronkelijk bedoeld zijn en waarvoor ze ook niet geschikt zijn. Een belangrijk en actueel voorbeeld van een dergelijk onjuist gebruik is de onderbouwing van normen voor opkomsttijden van de brandweer.

Inhoud

| | |
|---|----|
| Colofon | 2 |
| Samenvatting | 3 |
| Inleiding | 6 |
| 1.1 Aanleiding | 6 |
| 1.2 Doel | 6 |
| 1.3 Aanpak | 7 |
| 2 Modellen brandverloop | 8 |
| 2.1 Standaard brandkromme en andere NEN-brandkrommen | 8 |
| 2.2 Natural fire design | 10 |
| 2.3 Normatief brandverloop | 10 |
| 2.4 Overige modellen | 13 |
| 3 Aspecten van brand | 14 |
| 3.1 Hitte | 14 |
| 3.2 Rook | 15 |
| 4 Toepassing van de modellen | 17 |
| 4.1 Preventieve eisen | 17 |
| 4.2 Repressieve eisen | 17 |
| 4.3 Veilig repressief optreden | 18 |
| 5 Beoordeling | 21 |
| 5.1 Kennisbehoefte | 21 |
| 5.2 Inhoudelijke waardering | 22 |
| 5.2.1 Hitte | 24 |
| 5.2.2 Rook | 25 |
| 6 Conclusies en aanbevelingen | 26 |
| 6.1 Conclusies | 26 |
| 6.2 Aanbevelingen | 26 |
| Literatuur | 28 |

Inleiding

1.1 Aanleiding

Het onderzoeksprogramma 'Verbetering brandveiligheid' heeft, zoals de titel aangeeft, tot doel de brandveiligheid in Nederland te verbeteren. Deze verbetering van de brandveiligheid kan zowel gezocht worden in de brandpreventie als in de (effectiviteit van de) brandbestrijding.

Een voorwaarde om tot verbetering te komen is inzicht in brandontwikkeling. Als we weten hoe een brand zich ontwikkelt, kunnen we vaststellen wat zinvolle interventies zijn en in welke schakel van de veiligheidsketen geïnvesteerd kan worden. Daarom is in deze fase van het onderzoek ervoor gekozen om het inzicht in het modelmatig brandverloop nader te beschouwen.

In Nederland wordt sinds enige decennia het brandverloop modelmatig benaderd (de 'brandkromme'). Lector brandweerkunde Ed Oomes heeft in zijn lectorale rede 'De vanzelfsprekendheid van alledag' uit 2006 gewezen op het belang van een gevalideerd brandverloop 'waarmee op rationele wijze de meest geëigende interventies kunnen worden toegepast' (Oomes 2006). Tegelijkertijd heeft hij vraagtekens geplaatst bij de validiteit van de huidige modelmatige benadering. Hij heeft daarbij het voornemen geuit om deze validiteit aan een kritische beschouwing te onderwerpen. Het voorliggende onderzoeksrapport kan als een eerste stap van de uitwerking van dat voornemen gezien worden. Het onderzoek is dan ook in nauwe samenspraak met het lectoraat brandweerkunde opgezet en uitgevoerd.

1.2 Doel

In het oorspronkelijke projectvoorstel 'Verbetering brandveiligheid' werd gesproken over het ontwikkelen van nieuwe, gevalideerde brandkrommen. In de loop van het project hebben de betrokken onderzoekers echter geconstateerd dat het weinig zinvol is om nieuwe brandkrommen te gaan ontwikkelen voordat in kaart gebracht is welke modelmatige benaderingen van brandverloop er momenteel gebruikt worden en wat de achtergrond van die modellen is. Daarom is er besloten om eerst een meer inventariserend onderzoek te doen. Hierin wordt ingegaan op de volgende vragen:

1. Welke (belangrijkste) modelmatige benaderingen van het brandverloop worden in Nederland gebruikt?
2. Wat bepaalt de schadelijkheid van brand?
3. Waarvoor worden deze modellen toegepast?
4. Wat is de kennisbehoefte ten aanzien van brandmodellen?
5. In hoeverre voldoen de modellen aan deze kennisbehoefte?
6. Wat kan er gezegd worden over de waarde van de modellen voor de toepassing waarvoor ze gebruikt worden?

Met dit inventariserende onderzoek zal duidelijk worden wat er aan 'brandmodellen' voor handen is, wat de toepasbaarheid van die modellen is en waar eventueel (kennis)hiaten zitten. Pas wanneer dat in kaart gebracht is kan er zinvol ingegaan worden op het voornemen tot het ontwikkelen van nieuwe gevalideerde brandkrommen die beantwoorden aan het doel waarvoor ze gebruikt worden.

1.3 Aanpak

Om de hiervoor genoemde vragen te beantwoorden is een uitgebreide literatuurstudie gedaan. Hierbij is (voornamelijk Angelsaksische) literatuur over brand- en rookontwikkeling en de totstandkoming van brandkrommen en de validatie daarvan bestudeerd. Ook is gekeken naar de wijze waarop modellen van brandontwikkeling gebruikt worden in Nederlandse (beleids)documenten en lesstof.

2 Modellen brandverloop

Voordat in hoofdstuk drie dieper ingaan wordt op de begrippen brand, brandontwikkeling en brandmodellen, wordt eerst een globaal overzicht gegeven van de belangrijkste 'brandmodellen' die in Nederland gebruikt worden. Met 'brandmodellen' bedoelen we een modelmatige weergave van het verloop van een aspect van brand (bijvoorbeeld hitte ten opzichte van de tijd).

In het jargon van de brandweer in Nederland is een 'brandkromme' een lijndiagram die het verloop van de hitte (temperatuur of warmtestraling) ten opzichte van de tijd weergeeft bij een brand. Termen als 'standaard brandkromme', 'brandkromme', 'normatief brandverloop' en 'natuurlijk brandverloop' worden door elkaar gebruikt, zonder dat altijd duidelijk is op welk model een spreker of schrijver precies doelt.

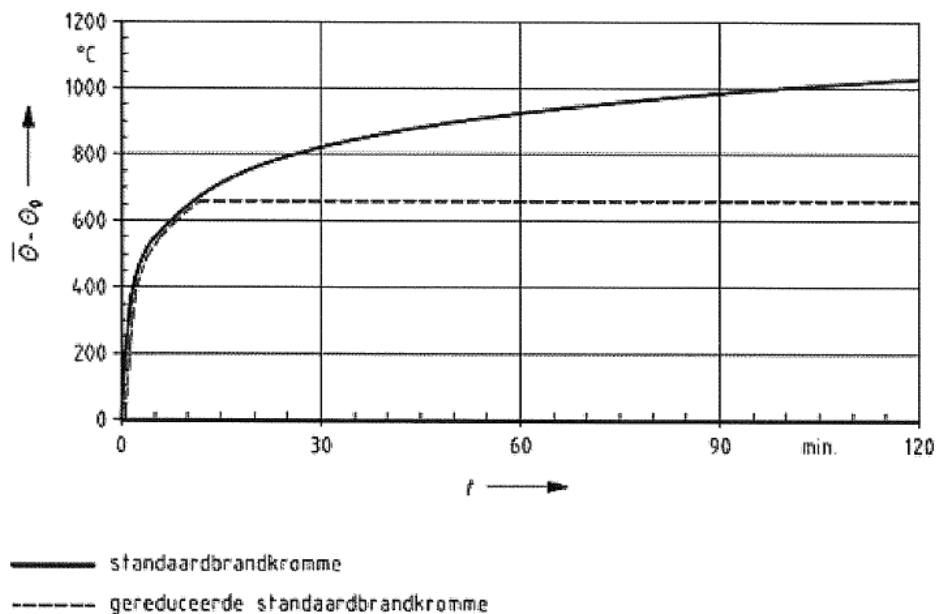
In dit hoofdstuk is gekeken naar de in Nederland gangbare modellen die het brandverloop beschrijven. Deze modellen spelen een rol in beleid, in opleidingen en in brandweerliteratuur. De modellen zijn:

1. de standaard brandkromme en andere NEN-brandkrommen;
2. het 'natural fire design' ('natuurlijke' brandkrommen);
3. het normatief brandverloop;
4. overige modellen.

In de fire safety engineering komen we ook de indeling tegen in nominale brandkrommen, parametrische brandkrommen, de één zonemodellen, de meer zonemodellen en de veldmodellen (Studiedag 2004). Voor het doel van dit onderzoek is deze indeling minder relevant.

2.1 Standaard brandkromme en andere NEN-brandkrommen

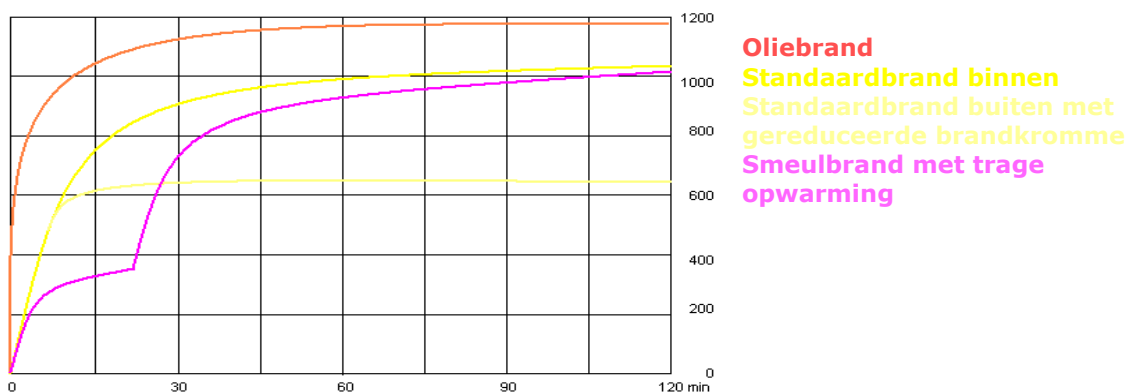
De standaard brandkromme is een grafische weergave van het temperatuurverloop bij een ontwikkelde brand. De standaard brandkromme beschrijft de fase van flashover en de periode daarna. Het model gaat uit van een exponentiële toename van temperatuur tot een bepaald maximum. Vervolgens gaat het model ervan uit dat de temperatuur gedurende een aantal uur onveranderd op die maximale waarde blijft steken. Hieronder is een afbeelding van de standaard brandkromme weergegeven.



Figuur 1: de standaard brandkromme uit de NEN 6069:1991. Op de verticale as staat de temperatuur in graden Celsius weergegeven. Op de horizontale as de tijd in minuten.

De standaard brandkromme wordt gebruikt bij het testen van bouwdelen en bouwproducten (Zehfuss 2007). In feite is het een beschrijving van een testsituatie, die is vastgelegd in een NEN-norm (NEN 6069). In het Bouwbesluit wordt verwezen naar deze NEN-norm. Daarmee heeft deze standaard brandkromme een normatief karakter.

De standaard brandkromme uit de NEN 6069 is een zeer generieke brandkromme. In de NEN-EN 1363-2 worden daarom voor verschillende typen branden verschillende brandkrommen gegeven. Zoals in figuur 2 te zien is, lopen de verschillende grafieken voor de verschillende typen branden uiteen.



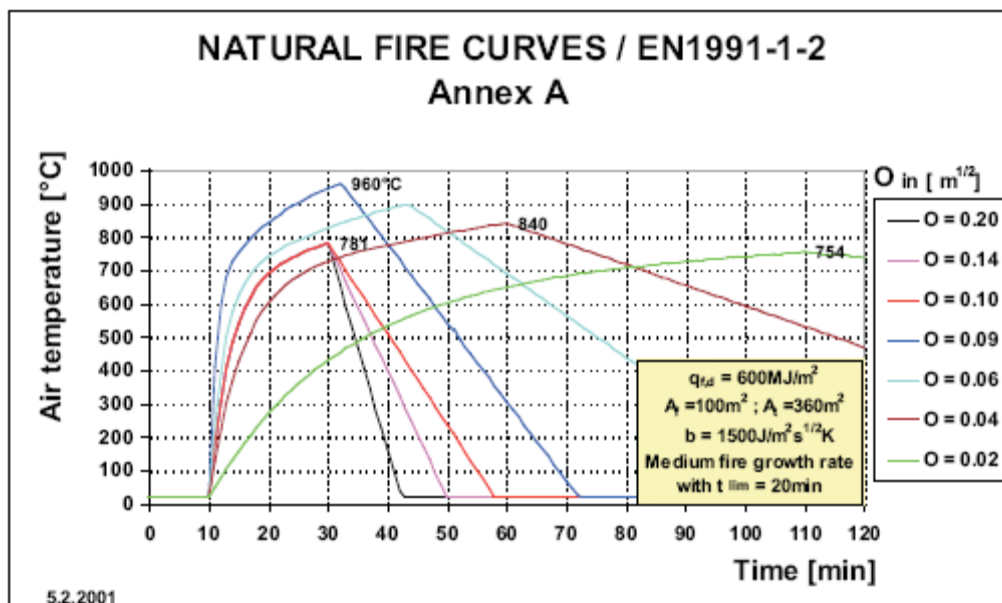
Figuur 2: brandkrommen uit de NEN-EN 1363-2. Op de verticale as staat de temperatuur in graden Celsius weergegeven. Op de horizontale as de tijd in minuten.

Uit figuur 2 zijn twee belangrijke constatering te doen. Ten eerste dat deze NEN-EN norm uitgaat van forse temperatuursverschillen tussen de ene en de andere brand en ten tweede dat er bij een smeulbrand twee verschillende fasen te onderscheiden zijn.

2.2 Natural fire design

Zoals uit het vorige hoofdstuk blijkt, gaat de standaard brandkromme uit van het gedurende langere tijd gelijk blijven van de hoge temperaturen die in de post-flashoverfase bereikt worden. Dit geldt ook voor vergelijkbare brandkrommen die opgenomen zijn in internationale normen zoals de ISO 843 en de EN 1363-1.

Sommige onderzoeken tonen echter aan dat de temperatuur na het bereiken van het hoogste punt al vrij snel daalt. Dit in tegenstelling tot de standaard brandkromme. Daarom zijn er verschillende temperatuurcurven ontwikkeld die een meer realistisch verloop van de temperatuur in de post-flashoverfase beschrijven. In de literatuur wordt een dergelijke curve een 'natural fire design' genoemd. Een natural fire design nuanceert in feite de standaard brandkromme.

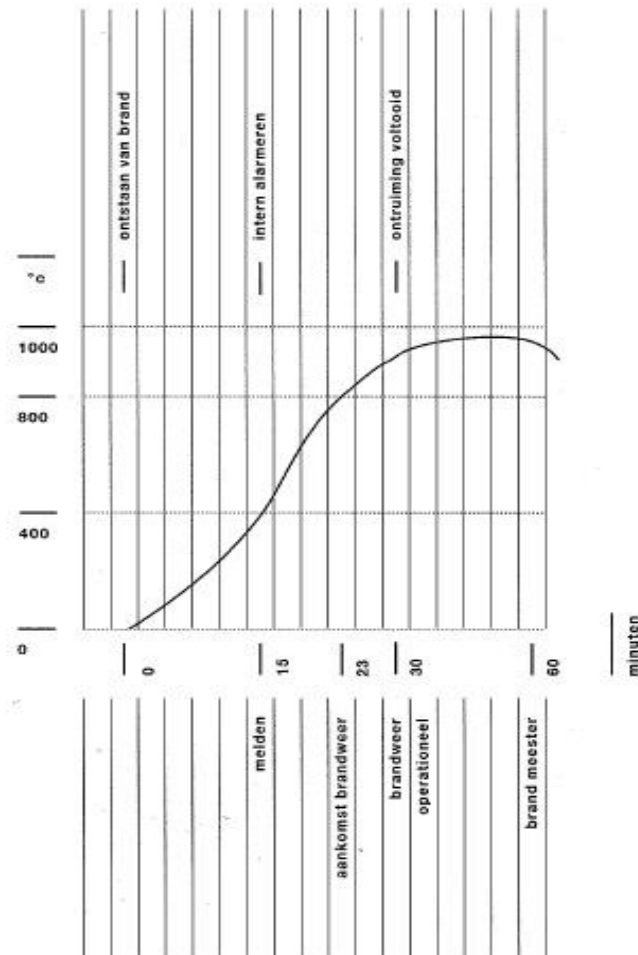


Figuur 3: natural fire curves (uit: Bukowsky 2006)

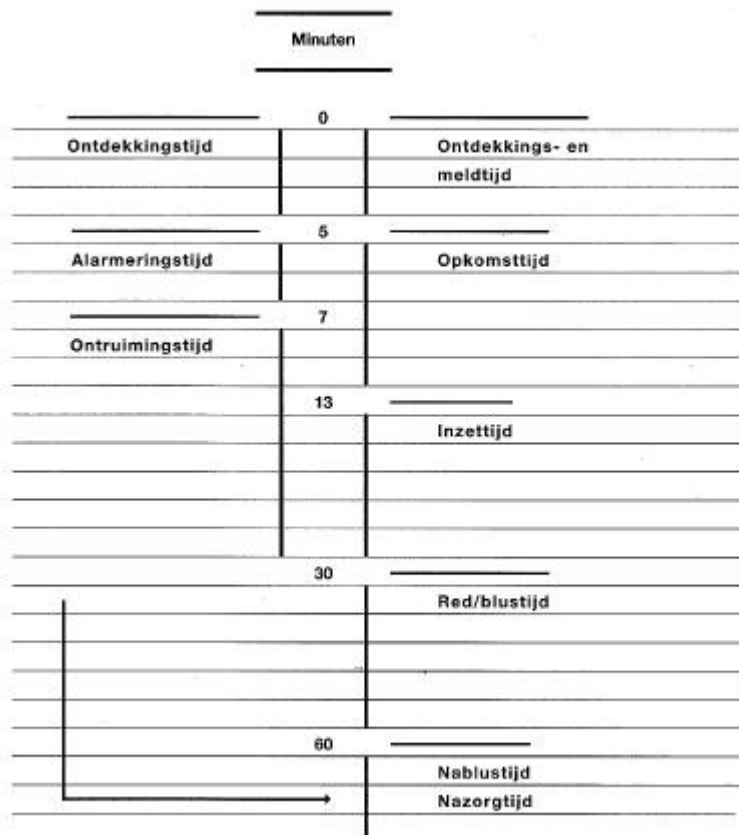
2.3 Normatief brandverloop

Met het normatief brandverloop doelen we op het brandverloop zoals dat is weergegeven in de brandbeveiligingsconcepten zoals die medio jaren negentig zijn verschenen. Opvallend aan dit model is dat ook de fase wordt meegenomen waarin de brand nog niet volledig tot ontwikkeling is gekomen (de zogenaamde pre-flashoverfase). Het normatief brandverloop beschrijft de ontwikkeling van de temperatuur in een lijndiagram. Daartegen worden cruciale 'acties' of

'gebeurtenissen' afgezet, zoals de ontdekking van de brand en de aankomst van de brandweer. Hiermee wordt inzichtelijk gemaakt wat de invloed van brandpreventieve maatregelen (zoals sprinklers en rookmelders) kan zijn op het brandverloop.



Figuur 4: normatief brandverloop gebouw met publieksfunctie (uit: Publieksfunctie 1995). Op de verticale as staat de temperatuur in graden Celsius weergegeven. Op de horizontale as de tijd in minuten. De horizontale tijdas is bovendien voorzien van enkele kenmerkende momenten rond ontdekking, alarmering en brandbestrijding.



Figuur 5: ijkmomenten in het brandverloop met rookmelder (uit: Publieksfunctie 1995).

In figuur 5 worden de opeenvolgende ijkmomenten onder elkaar weergegeven, ten opzichte van een verticale tijdas (van boven naar beneden oplopend van 0 tot meer dan 60 minuten).

Door middel van het normatief brandverloop kan inzichtelijk gemaakt worden wat het effect is van brandpreventieve maatregelen. Zo kan een rookmelder ervoor zorgen dat de brand eerder ontdekt en gemeld wordt, dat de brandweer sneller ter plaatse kan zijn en dat er in een vroegtijdig stadium bluswerkzaamheden uitgevoerd kunnen worden. Daarmee verschuift de 'tijdbalk' ten opzichte van het lijndiagram. Het gevolg zal zijn dat het lijndiagram anders zal komen te lopen, omdat bij een vroegtijdige blussing de brand (c.q. de temperatuur) geen kans meer krijgt om zich nog verder te ontwikkelen. In de Brandbeveiligingsconcepten wordt niet ingegaan op hoe het lijndiagram exact zal gaan lopen als gevolg van brandpreventieve maatregelen. Wel wordt in de tijdbalk aangegeven wat de invloed van een maatregel is op de 'ijkmomenten' van het brandverloop, zoals 'meldtijd' en 'ontruimingstijd'. Figuur 5 is een voorbeeld van een aangepaste tijdbalk: dankzij het toepassen van een rookmelder is de ontdekkingstijd teruggebracht naar 5 minuten.

2.4 Overige modellen

Naast deze belangrijkste 'brandmodellen' zijn er nog enkele modellen die een minder grootschalige toepassing of bekendheid kennen, maar die wel relevant zijn om te noemen. Deze modellen (c.q. berekeningsmethoden) worden meestal gebruikt in het kader van simulatie, gelijkwaardigheid en fire safety engineering. De modellen gaan meestal in op het hitteverloop vanaf het moment dat de brand volledig tot ontwikkeling is gekomen (de post-flashoverfase). Sommige modellen behandelen ook de fase daarvoor. Een enkel model gaat in op de rookontwikkeling. Dit betreft het 'Vultijdenmodel' (een softwarepakket), dat berekent (op basis van een aantal variabelen) binnen hoeveel tijd een ruimte met rook gevuld is.

Tenslotte circuleren er in lesstof en beleidsstukken nog grafische weergaven van het verloop van temperatuur tijdens brand. Deze lijndiagrammen zijn echter zeer schetsmatig en er zijn meestal geen eenheden vermeld bij de x-as en de y-as van het lijndiagram. Ze zijn hoofdzakelijk bedoeld om een indicatie te geven van waarop de temperatuur oploopt bij een brand. Hoewel dergelijke grafische voorstellingen in het spraakgebruik vaak 'brandkrommen' genoemd worden, zijn ze dat in feite niet. Ze zijn niet gebaseerd op testen, formules of berekeningen en verwijzen niet naar concrete getallen (althans: hier wordt niet naar verwezen).

3 Aspecten van brand

Brand is een complex verschijnsel. Temperatuur en hittestraling, in relatie tot het aanwezige brandbare materiaal, bepalen hoe het vuur zich ontwikkelt. De temperatuur en de hittestraling zijn ook van grote invloed op de veiligheid van mensen en dieren die in de nabijheid van de brand verkeren. Daarnaast tast zowel het vuur als ook de temperatuur en de hittestraling de constructie van het pand aan waardoor deze kan bezwijken. Zodoende hebben temperatuur en hittestraling ook indirect invloed op de veiligheid van aanwezige mensen en dieren. Daarnaast kennen panden vaak een inboedel met een economische en eventueel een culturele of emotionele waarde. Deze inboedel kan door het vuur verteerd worden, beschadigd raken door temperatuur of hittestraling of beschadigd raken door instortende gebouwdelen. Naast temperatuur en hittestraling zorgt rook voor grote schade aan de inboedel (Särdqvist 2000) en aan de veiligheid en de gezondheid van aanwezige mensen en dieren (Gann 2001; Gann 2004; Peacock 2004). In welke mate dat het geval is, is afhankelijk van het brandbare materiaal en de volledigheid van de verbranding. Dat bepaalt immers de soort en de hoeveelheid schadelijke stoffen en roet die vrijkomen bij een brand. De ontwikkeling van rookgassen en de ophoping daarvan kunnen bovendien bijdragen aan de verdere ontwikkeling van de brand.

Een model is altijd een versimpelde weergave van de werkelijkheid. Zoals we in het voorgaande hoofdstuk hebben kunnen zien onderscheiden de gangbare modellen zich in complexiteit en focus. Sommige modellen geven slechts een zeer grove indicatie van het verloop van de temperatuur van een volledig ontwikkelde brand in een 'gemiddelde' ruimte, terwijl andere modellen ingaan op het verloop van hittestraling in verschillende gebouwtypen. Relatief weinig modellen gaan in op het verschijnsel rookontwikkeling. Geen enkel model gaat in op de samenstelling van rook in verschillende omstandigheden en de schadelijkheid daarvan. Waarschijnlijk heeft dit te maken met de grote mate van onvoorspelbaarheid en het feit dat er nog veel wetenschappelijke onduidelijkheid bestaat over de samenstelling en de schadelijkheid van rook (Kobes 2008; Gann 2004).

In dit hoofdstuk kijken we naar de toepassing van die modellen. Wat zeggen de modellen eigenlijk en waarvoor worden ze gebruikt?

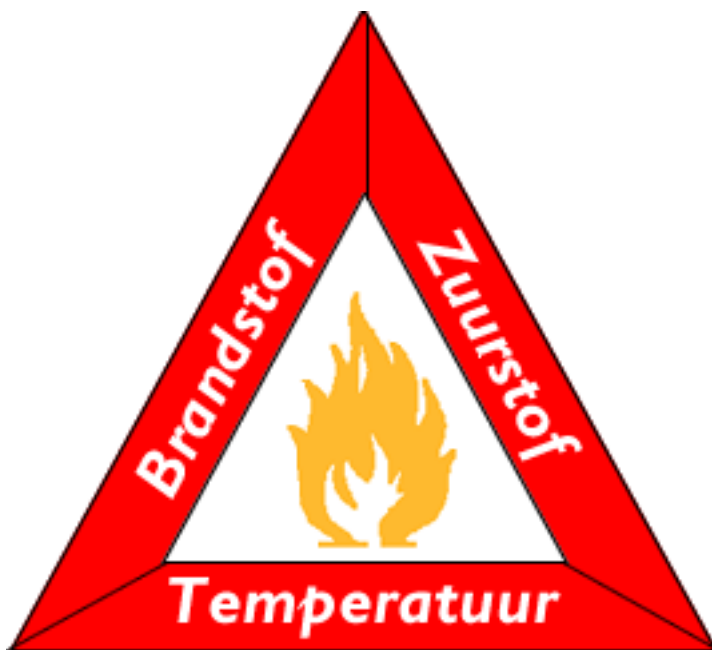
In de volgende paragrafen worden de twee hoofdcategorieën van schadelijke effecten nader beschouwd: hitte en rook.

3.1 Hitte

Hitte (c.q. warmte) is te definiëren in 'temperatuur' (meestal uitgedrukt in graden Celsius) of 'hittestraling' (meestal uitgedrukt in kilowatt per vierkante meter). Beide vormen van hitte zijn bij brand relevant. Hitte kan zorgen voor schade doordat materiaal door de hoge temperaturen of de hoge hittestraling zijn structuur verliest en bezwijkt (bijvoorbeeld staalconstructies) of doordat brandbaar materiaal mee gaat doen met de verbranding. Warmtestraling en temperatuur kunnen ook direct invloed hebben op leven en gezondheid van mensen en dieren door het veroorzaken van brandwonden op huid, ogen en longen, het veroorzaken van warmtestuwing (bewustzijnsverlies, hersenletsel) en het verbranden (verschroeien)

van haren en kleding. De hoogte van de temperatuur die een mens of dier aankan, hangt nauw samen met de luchtvochtigheid en de lichamelijke conditie.

Hitte is daarnaast essentieel voor het (voort)bestaan van vuur. Voor onderwijsdoeleinden wordt er vaak gebruikgemaakt van de zogenaamde 'branddriehoek'. De driehoek bestaat uit de zijden 'hitte', 'brandstof' en 'zuurstof'. Elk van deze zijden is nodig om de brand in stand te houden. Als één van de zijden van de driehoek weggenomen wordt, valt de driehoek bij wijze van spreken in elkaar en gaat de brand uit (Nibra 2005)¹.



Figuur 6: de branddriehoek

3.2 Rook

Sommige wetenschappers vermoeden dat het aspect 'rook' aangemerkt kan worden als het meest schadelijke aspect van brand, zowel als gekeken wordt naar de (letale) gezondheidseffecten op mensen (Särdqvist 2000; Gann 2001; Gann 2004; Purser 2002) als naar de materiële schade (bijvoorbeeld de schade doordat roetdeeltjes overal op en in gaan zitten en spullen daarmee onbruikbaar raken of dat dure schoonmaak- en herstelwerkzaamheden nodig zijn) (Särdqvist 2000). De gezondheidseffecten kunnen nog onderverdeeld worden in korte termijneffecten en lange termijneffecten. Korte termijneffecten zijn acute rookvergiftiging, acute longbeschadiging en irritatie van luchtwegen, ogen en slijmvliezen. Als lange termijneffecten worden vooral kanker en aantasting van het immuunsysteem genoemd (Blomqvist 2005). Het is ook mogelijk dat letale effecten van rook zich pas enige uren na inhalatie manifesteren (ISO 2004; Blomqvist 2005). Sommige deskundigen beweren dat de toxiciteit de laatste jaren is toegenomen door de grootschalige toepassing van synthetische materialen in interieurs.

¹ Soms worden de aspecten 'mengverhouding' en 'katalysator' toegevoegd aan de branddriehoek en wordt er gesproken van een 'brandvijfhoek'.

Hierdoor is rook niet alleen giftiger, er ontstaat ook sneller meer rook dan bij de verbranding van niet-synthetische materialen (Purser 2002).

Sommige wetenschappers zijn van mening dat er een onderscheid gemaakt moet worden tussen de schadelijke effecten van rook *binnen* en *buiten* de ruimte waar het brandt. Volgens hen zijn de levensbedreigende effecten van temperatuur binnen de ruimte waar het brandt sneller bereikt dan de levensbedreigende effecten van rook (Peacock 2004). Puser (2002) beweert echter dat rook sneller tot letale effecten leidt. Het in brand raken van een armleuning van een fauteuil leidt volgens hem al binnen drie minuten tot een onleefbare situatie in de betreffende ruimte.²

De rookproductie bij brand is ook nog om een andere reden relevant. De vluchtmogelijkheden van mensen nemen dramatisch af bij het ontstaan van rook. Door de rook verliezen mensen oriëntatiepunten uit het oog. Bovendien leidt het inademen van rook tot een sterke afname van de geestelijke vermogens zoals helder na kunnen denken en oriëntatievermogen. Mensen die teveel rook inademen zijn vaak (als gevolg van hypoxia) traag, kunnen minder goed de situatie beoordelen en hebben een verminderde concentratie (Kobes 2008; ISO 2004). Nederlandse brandpreventieregels gaan ervan uit dat mensen bij brand ongeveer dertig meter door de rook kunnen vluchten. Op basis van de bestudeerde literatuur kunnen vraagtekens geplaatst worden bij die aanname. Er is namelijk bij het bepalen van die afstand geen rekening gehouden met de effecten van rook en verbrandingsgassen op de lichamelijke en psychische conditie van mensen (Kobes 2008).

² Purser (2002) merkt op dat er verschillen in cijfers zijn tussen het Verenigd Koninkrijk en de Verenigde Staten als het gaat over het aantal doden dat valt binnen en buiten de ruimte waar het brandt. In Engeland komen meer mensen om in de brandende ruimte, terwijl in Amerika meer mensen omkomen buiten de brandende ruimte. Purser vermoedt dat culturele verschillen en verschillen in bouwstijl hier debet aan zijn.

4 Toepassing van de modellen

Modelmatig inzicht in brandontwikkeling is voor verschillende brandveiligheidsvraagstukken van belang. We kunnen deze vraagstukken indelen in drie categorieën:

1. preventieve eisen;
2. repressieve eisen;
3. veilig repressief optreden.

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op het gebruik van de verschillende modellen in Nederland.

4.1 Preventieve eisen

Vanuit de bouwregelgeving worden eisen gesteld aan constructies om te voorkomen dat bouwwerken bij brand te snel instorten. Constructies moeten een bepaalde tijd na het ontstaan van brand nog overeind blijven staan, zodat mensen voldoende tijd hebben om het pand te verlaten, de brandweer nog een bluspoging kan ondernemen en schade aan het gebouw en aan goederen beperkt blijft. Het Bouwbesluit gaat bij het stellen van eisen uit van de standaard brandkromme.

De 'brandbeveiligingsconcepten' maken ook gebruik van een modelmatige benadering van het brandverloop. De brandbeveiligingsconcepten zijn publicaties die medio jaren negentig zijn uitgegeven door het ministerie van Binnenlandse Zaken. In de Brandbeveiligingsconcepten worden uitgangspunten geformuleerd die als basis dienen voor het denken over brandveiligheid. De brandbeveiligingsconcepten maken duidelijk dat bepaalde preventieve maatregelen (rookmelders, sprinklers) invloed hebben op het brandverloop.

4.2 Repressieve eisen

Inzicht in brandverloop kan ook relevant zijn voor de eisen die gesteld worden aan de repressieve slagkracht van de brandweer. Aangenomen wordt dat op basis van dat inzicht bepaald kan worden binnen hoeveel tijd de brandweer ter plaatse moet zijn na het ontstaan van de brand om nog een zinvolle bluspoging te doen en eventueel een redding uit te voeren. Immers: hoe langer een brand zich heeft kunnen ontwikkelen, hoe minder er nog te redden valt. Een kleine brand kan nog in de kiem gesmoord worden, terwijl de schade bij een volledig ontwikkelde brand meestal niet meer te beperken is. Hooguit kan dan schade aan belendende compartimenten of bouwwerken voorkomen of beperkt worden. Daarom is het goed om te weten op welk moment een brand omslaat van 'klein' naar 'volledig ontwikkeld' (de flashoverfase).

In de *Leidraad repressieve basisbrandweezorg* van het ministerie van BZK uit 2005 (AVD 2005) wordt een relatie gelegd tussen een (niet nader gespecificeerde) brandkromme en de noodzaak dat de brandweer snel ter plaatse is om een brand te blussen. Opkomsttijden voor de brandweer worden hierin onder meer bepaald met een verwijzing naar 'de brandkromme die aangeeft op welk moment in welk type gebouw een zogenaamde flashover kan plaatsvinden' (p. 27). Dit wordt niet nader beargumenteerd of onderbouwd met literatuurreferenties.

De *Leidraad* legt een directe relatie tussen het moment van flashover en de overlevingskansen van slachtoffers. Ook wordt een (impliciete) relatie gelegd tussen de brandkromme en de exponentiële toename van de (brand)schade. 'Hierdoor gelden strakke regels voor de snelheid van het brandweeroptreden' volgens de *Leidraad*. De tekst wekt de suggestie dat hier wetenschappelijk onderzoek naar gedaan is. Bij navraag bij de auteur blijkt dit echter niet het geval te zijn.

De redenering uit de *Leidraad* van AVD wordt vrijwel ongewijzigd overgenomen in een rapport van de Inspectie Openbare Orde en Veiligheid uit 2007 over opkomsttijden (IOOV 2007). Hier wordt nog aan toegevoegd dat er bij woningbranden 'nog een redelijke kans is op een succesvolle redding bij een opkomsttijd van 8 minuten (p. 48). De onjuistheid van die stelling wordt genoemd in een mondelinge en schriftelijke reactie van onderzoekers van bureau Save, die destijds een onderzoek hebben uitgevoerd naar opkomsttijden (zie o.a. Save 2008).

In opdracht van het ministerie van Binnenlandse Zaken (BiZa) is eind jaren tachtig en begin jaren negentig uitgebreid onderzoek gedaan naar brandontwikkeling. Hierbij is gekeken naar of er tot een 'normtijd' gekomen kon worden, waarbinnen de brandweer zeker ter plaatse zou moeten zijn om nog een zinvolle inzet te kunnen doen. Meer dan zeshonderd branden zijn hierbij onderzocht en middels waarnemingen van bevelvoerders of andere bronnen (getuigen) is getracht een inschatting te maken van de duur van de brand voor aankomst van de brandweer. Daarnaast zijn 44 branden met dodelijke afloop meer diepgaand geanalyseerd. De voor de hand liggende conclusie van dat onderzoek was dat hoe sneller na ontstaan van de brand de brandweer ter plaatse was, hoe succesvoller het brandweeroptreden kon zijn. Op basis van de bestudeerde branden kon echter niet geconcludeerd worden dat er ergens een 'omslagpunt' te definiëren viel, of een tijd na melding³ waarbinnen de brandweer zeker ter plaatse zou moeten zijn. Een relatie tussen een brandkromme en maximaal toelaatbare opkomsttijden is op basis van dat onderzoek niet te geven. Na het onderzoek verscheen de *Handleiding brandweezorg* (BZK 1992). Deze *Handleiding* is de voorganger van de genoemde *Leidraad operationele prestaties*. De genoemde tijden in de *Handleiding brandweezorg* moeten echter gelezen worden als een inschatting van wat in die tijd economisch en politiek haalbaar was (dus de stilzwijgend 'geaccepteerde' praktijk waarvoor er geen ingrijpende wijzigingen in de brandweezorg nodig waren, zoals het opnieuw positioneren van kazernes).

De relevantie van de *Leidraad repressieve basisbrandweezorg* (waarin opkomsttijden vastgelegd worden met een verwijzing naar een aanname over brandverloop) is hoog, aangezien de minister van BZK voornemens is de in de *leidraad* genoemde 'normtijd' van acht minuten tot formele regelgeving te verheffen middels een Algemene Maatregel van Bestuur.

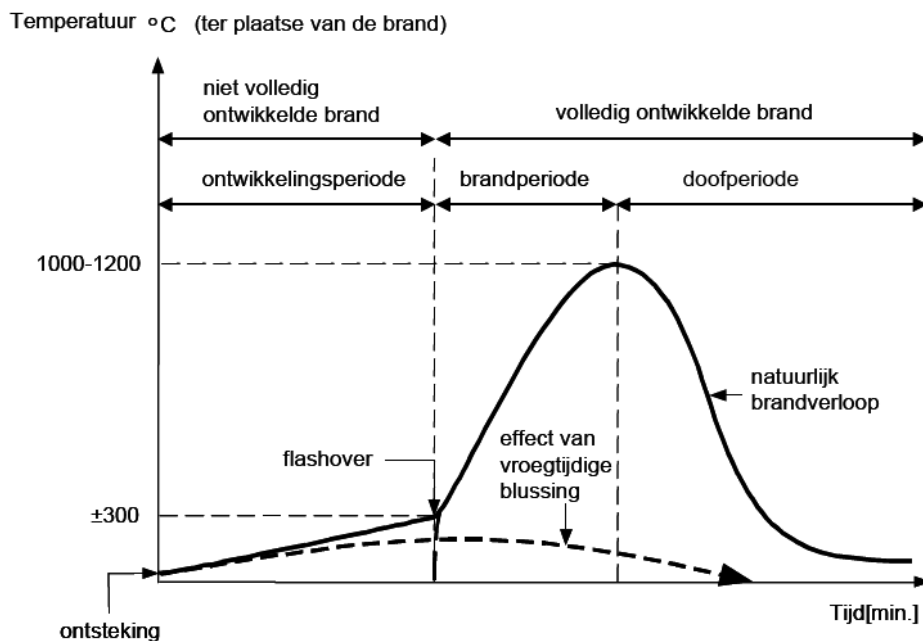
4.3 Veilig repressief optreden

Wanneer de brandweer ter plaatse komt, moet er een inschatting gemaakt worden voor welke bestrijdingstactiek gekozen wordt. Wordt er besloten tot een

³ Merk op dat er in het ene geval gesproken wordt van opkomsttijd *na melding* en in het andere geval de aankomst van de brandweer *na ontstaan*. De tijd tussen het ontstaan van de brand en het melden van de brand kan aanzienlijk zijn.

binnenaanval, wordt de brand van buitenaf bestreden, wordt de brand daadwerkelijk geblust of wordt ervoor gekozen om uitbreiding naar andere gebouwen of gebouwdelen te voorkomen en de brand verder uit te laten woeden? Bij de afwegingen die hierbij gemaakt worden, speelt inzicht in het brandverloop een belangrijke rol. Op basis van rook (kleur, dichtheid), stroming, temperatuur en vlammen kan ingeschat worden in welk stadium de brand zich bevindt en kan er een bijpassende bestrijdingstactiek bij gezocht worden. Modelmatig inzicht in brandverloop kan bijdragen bij die inschatting (hoe lang brandt het al?).

Om die reden wordt ook in de lesboeken van het NIFV aandacht besteed aan het brandverloop. Zo wordt in het lesboek *Onderbrandmeester/brandmeester Repressie keuze* (Nibra 2001, p. 57-60) een grafische voorstelling van het brandverloop gebruikt om inzichtelijk te maken dat een brand (of eigenlijk de *temperatuur*) zich eerst langzaam en daarna exponentieel ontwikkelt. De brandweer kan met een snelle en gerichte inzet voorkomen dat de exponentiële ontwikkeling (i.c. de flashover) plaatsvindt. De 'brandkromme' die in deze lesstof gebruikt wordt is echter niet aan concrete tijden gekoppeld waardoor er geen 'kengetallen' aan ontleend kunnen worden.



Figuur 7: een grafische voorstelling van brandverloop (Nibra 2001)

Met een goed modelmatig inzicht in het brandverloop valt echter in de feitelijke brandbestrijding meer te doen. Zo kan er met behulp van de (modelmatige) kennis over brandontwikkeling (hitte en rook) een betere inschatting gemaakt worden van de overlevingskansen van eventuele slachtoffers. Op basis van die inschatting kan afgewogen worden of een reddingspoging nog zin heeft en hoe je die redding en de verkenning het beste kunt organiseren. Hierbij moeten vragen beantwoord worden als: leeft er nog iemand onder deze omstandigheden, waar overleeft men het beste, welke plekken moet je het eerst verkennen, van buiten naar binnen, of direct naar de bron, wanneer wel ventileren en wanneer niet en hoe dan? Ook de verwachte rookontwikkeling in relatie tot de verkenningsnelheid (hoeveel vierkante meter er per minuut verkend kan worden) kan hierbij beschouwd worden.

Dit soort thema's kunnen bepalend zijn bij de keuze om wel of geen binnenaanval te doen.

Een dergelijk inzicht is niet allen van belang voor de inschatting van de mogelijkheid om slachtoffers te redden, ook de mogelijkheden van de bestrijding van de brand zelf (en welke bestrijdingstactiek daarbij gebruikt kan worden) kunnen hierdoor beter ingeschat worden.

5 Beoordeling

Brandmodellen worden voor verschillende doeleinden gebruikt. Tegelijkertijd kan geconstateerd worden brand een zeer complex verschijnsel is en dat brand een breed scala aan ongewenste gevolgen kent. Een model is daarom per definitie een sterke vereenvoudiging van de werkelijkheid. Dat hoeft niet slecht te zijn. Soms is een vereenvoudiging van de werkelijkheid nodig omdat je maar in een bepaald aspect van die werkelijkheid geïnteresseerd bent. De overige aspecten zijn dan niet relevant. Dit is bijvoorbeeld aan de orde als je wilt weten of staalconstructies bestand zijn tegen de hoge temperaturen die bij brand vrijkomen. Het aspect 'toxiciteit van rook' of 'zichtlengte' is dan niet relevant.

5.1 Kennisbehoefte

Op basis van literatuurstudie en op basis van een kleine inventarisatie bij enkele (voornamelijk bij het NIFV betrokken) deskundigen⁴ is een lijst opgesteld van aspecten van brand die van belang geacht worden en die de betrokken deskundigen graag terug zouden zien komen in de brandmodellen. Dit omschrijven we als de 'kennisbehoefte'. Vervolgens is geïnventariseerd in hoeverre de modellen aan deze kennisbehoefte tegemoet kunnen komen. Hierna kunnen we iets zeggen over de 'hiaten' in de modellen.

Uit deze inventarisatie is de volgende kennisbehoefte naar voren gekomen.

- ontwikkeling van temperatuur ten opzichte van de tijd bij een brand in de smeulfase;
- ontwikkeling van temperatuur ten opzichte van de tijd bij een ontwikkelde brand;
- vermindering van temperatuur na bereiken hoogste temperatuur;
- ontwikkeling van warmtestraling ten opzichte van de tijd bij een brand in de smeulfase;
- ontwikkeling van warmtestraling ten opzichte van de tijd bij een ontwikkelde brand;
- vermindering van warmtestraling na bereiken hoogste warmtestraling;
- ontwikkeling van zichtvermindering (rookdichtheid) ten opzichte van de tijd;
- rookverspreiding ten opzichte van de tijd;
- ontwikkeling van toxiciteit (samenstelling rook, rookdichtheid en rookverspreiding) ten opzichte van de tijd;
- differentiatie naar type brand;
- differentiatie naar variabelen in de ruimte (interieur, ventilatie, geometrische vorm, isolatiemateriaal).

De in hoofdstuk 2 genoemde brandmodellen zijn beoordeeld op basis van de mate waarin zij aan deze kennisbehoefte tegemoet komen. In onderstaande tabel is dit weergegeven.

⁴ Dit zijn: E. Oomes (brandweer Schiphol), R. Weewer (brandweer Amsterdam), M. Oude Wolbers (NIFV), J. Molenaar (NIFV), H. Veltkamp (NIFV), M. Kobes (NIFV), R. Hagen (NIFV) en J. Weges (NIFV).

| | Standaard brandkromme NEN 6069 | Brandkrommen NEN-EN 1363-2 | Natural fire design curves | Normatief brandverloop | Vulrijzenmodel |
|--|-----------------------------------|-------------------------------|----------------------------|------------------------|----------------|
| ontwikkeling van temperatuur ten opzichte van de tijd bij een brand in de smeulfase | nee | deels | deels | ja | nee |
| ontwikkeling van temperatuur ten opzichte van de tijd bij een ontwikkelde brand | ja | ja | ja, sommige | ja | nee |
| vermindering van temperatuur na bereiken hoogste temperatuur | nee | nee | ja, sommige | deels | nee |
| ontwikkeling van warmtestraling ten opzichte van de tijd bij een brand in de smeulfase | nee | nee | sommige deels | nee | nee |
| ontwikkeling van warmtestraling ten opzichte van de tijd bij een ontwikkelde brand | nee | nee | ja, sommige | nee | nee |
| vermindering van warmtestraling na bereiken hoogste warmtestraling | nee | nee | ja, sommige | nee | nee |
| ontwikkeling van zichtvermindering (rookdichtheid) ten opzichte van de tijd | nee | nee | nee | nee | ja |
| rookverspreiding ten opzichte van de tijd | nee | nee | nee | nee | ja |
| ontwikkeling van toxiciteit (samenstelling rook, rookdichtheid en rookverspreiding) ten opzichte van de tijd | nee | nee | nee | nee | nee |
| differentiatie naar type brand | nee | ja | ja | ja | nee |
| differentiatie naar variabelen in de ruimte (interieur, ventilatie, geometrische vorm, isolatiemateriaal) | nee | nee | nee | nee | ja |

Tabel 1: informatie per model

Op basis van tabel 1 kan geconcludeerd worden dat geen enkel bekeken model de volledige kennisbehoefte dekt en dat geen enkel bekeken model ingaat op de toxiciteit van rook. Slechts een enkel model beschouwd de smeulfase van een brand. Dit is niet verwonderlijk, aangezien uit literatuur is gebleken dat de smeulfase een grote mate van onvoorspelbaarheid kent. Modellen hebben ieder hun eigen focus, hun eigen beperkingen en hun eigen doel. Het is belangrijk dit in oenschouw te nemen voordat de modellen gebruikt worden.

5.2 Inhoudelijke waardering

Zoals in de inleiding is aangegeven wordt in deze studie niet ingegaan op de technisch-inhoudelijke validiteit van de modellen. Met andere woorden: de experimenten en berekeningen op basis waarvan de modellen tot stand zijn gekomen zijn niet door het NIFV beoordeeld. Wel is in deze studie gekeken naar de mate waarin de modellen *in principe* geschikt zijn voor de doelen waarvoor ze

gebruikt worden en is gekeken naar de mate waarin in de literatuur inzicht wordt gegeven in hoe de modellen tot stand gekomen zijn.

Er zijn in deze literatuur geen aanwijzingen gevonden dat berekeningen niet zouden kloppen of dat experimenten niet reproduceerbaar zouden zijn. Wel kunnen er vraagtekens geplaatst worden bij de technisch-inhoudelijke validiteit van het normatief brandverloop. In de brandbeveiligingsconcepten wordt de suggestie gewekt dat het normatief brandverloop gebaseerd is op wetenschappelijk onderzoek. Nergens wordt echter verwezen naar empirische gegevens, experimenten of wetenschappelijke referenties. Ook wordt niet duidelijk of het normatief brandverloop opgevat moet worden als een 'denkkader' of (ook) als een model dat het werkelijke brandverloop beschrijft (en voorspelt). Doordat op de y-as getalsmatig de temperatuur (in graden Celsius) wordt weergegeven en op de x-as de tijd (in minuten), wordt de suggestie gewekt dat het normatief brandverloop meer is dan slechts een denkkader.

In de brandbeveiligingsconcepten wordt verder gesteld dat het laatste deel van de geschetste curve 'grote overeenkomsten vertoont met de standaard brandkromme' (Publieksfunctie 1995, p. 34). Deze stelling is aantoonbaar onjuist. Het tijd-temperatuurverloop van het normatief brandverloop uit figuur 4 wijkt sterk af van het tijd-temperatuurverloop van de standaard brandkromme zoals die is weergegeven in figuur 1. Na 30 minuten komt het normatief brandverloop al op een temperatuur van ruim 900 graden, terwijl de standaard brandkromme dan net boven de 800 graden zit. Daarna vlakkt de lijn van het normatief brandverloop af en na 50 minuten treedt er een daling in. In de standaard brandkromme loopt de lijn echter door en komt na bijna 100 minuten iets boven de 1000 graden uit. Deze waarde komt in het normatief brandverloop in het geheel niet voor.

Zoals aangegeven worden er verschillende modellen in Nederland gebruikt die iets zeggen over brandverloop. Het ene model behandelt het verloop van temperatuur, terwijl het andere model het verloop van warmtestraling of de rookdichtheid in beschouwing neemt. Niet elk model neemt elke fase van de brand in behandeling. Sommige modellen gaan alleen over een brand die al volledig tot ontwikkeling is gekomen, terwijl andere modellen ook de fase daarvoor in behandeling nemen. In de literatuur worden de volgende fasen in het brandverloop onderscheiden (ISO 1999 en Valorisation 2001):

1. Een relatief lange periode waarin de temperatuur in een ruimte slechts zeer langzaam toeneemt als gevolg van een zeer kleine brand of het smeulen van materiaal (de 'smeulfase');
2. Een duidelijkere temperatuuroptocht in de ruimte als gevolg van de brand;
3. Een korte en snelle toename van de temperatuur, meestal als gevolg van de (explosieve) verbranding van de rookgassen (een 'flashover');
4. Een aanvankelijk sterke maar later afvlakkende toename van de temperatuur doordat alle brandbare materialen in de ruimte mee gaan doen met het verbrandingsproces;
5. Een fase waarin de temperatuur onveranderd hoog blijft of na enige tijd terugloopt naar kamertemperatuur (dit is afhankelijk van de vraag in hoeverre het model rekening houdt met het feit dat het brandbare materiaal op een gegeven moment 'opgebrand' is).

Uiteraard hoeft niet elke brand alle fasen te doorlopen. Sommige branden komen zeer snel tot ontwikkeling door bijvoorbeeld een explosie of doordat een hoeveelheid licht ontvlambaar materiaal direct vlam vat. Die branden kennen geen

smeulfase. Andere branden komen nooit verder dan fase 2, doordat bijvoorbeeld de hoeveelheid brandbaar materiaal te beperkt is of doordat de brand vroegtijdig geblust wordt (sprinklers of snel ingrijpen door aanwezigheid van brandweer).

Hieronder worden de aspecten hitte en rook afzonderlijk beschouwd.

5.2.1 Hitte

Hoe een brand groeit van klein naar groot blijkt afhankelijk te zijn van zeer veel variabelen. Samengevat komen de variabelen hierop neer:

- kenmerk van de brandstof (vorm, brandbaarheid);
- vorm en afmetingen van de ruimte;
- ventilatiecondities (ISO 1999 en Bwalya 2004).

Globaal genomen ontwikkelt een brand zich als volgt: Aanvankelijk is er sprake van een klein (smeul)brandje. Hierbij kan gedacht worden aan een ongedoofde sigaret in een prullenbak. Afhankelijk van de aard en vorm van het materiaal waarmee die smeulbrand gevoed wordt (bijvoorbeeld proppen papier), kan de brand zich verder ontwikkelen. Wanneer de brand zich gedurende enige tijd verder heeft kunnen ontwikkelen, is de temperatuur in de ruimte gestegen. Als gevolg van die temperatuurstijging en als gevolg van de warmtestraling van de brand, gaan steeds meer materialen meedoen aan de brand. Ook vindt er 'uitgassing' plaats van brandbare materialen: tegen het plafond ontstaat er een laag brandbare rookgassen, die echter nog niet tot ontbranding is gekomen. Afhankelijk van de hoeveelheid zuurstof in de ruimte (ventilatiecondities) ontwikkelt een brand zich verder. Wanneer een brand zich zover heeft kunnen ontwikkelen dat de brandbare rookgassen een temperatuur van circa 600 graden Celsius hebben bereikt, komen die rookgassen tot ontbranding en vindt er een exponentiële toename plaats van temperatuur en hittestraling. Wanneer die temperatuur wordt bereikt is niet alleen afhankelijk van de omvang van de brand (die weer afhankelijk is van de beschikbare hoeveelheid zuurstof en brandbaar materiaal), maar is ook afhankelijk van de hoogte van het plafond. Indien er onvoldoende zuurstof in een ruimte aanwezig is om de brand zo ver te laten ontwikkelen, kan een brand 'gesmoord' worden. De brand kan dan na verloop van tijd vanzelf uit gaan, of de rookgassen kunnen op een later tijdstip alsnog tot ontbranding komen. Dit gebeurt als er een plotselinge toename van zuurstof plaatsvindt (bijvoorbeeld doordat een deur geopend wordt), terwijl de temperatuur nog voldoende hoog is om de verbranding plaats te laten vinden.

De verschillende variabelen hebben elk grote invloed op de vraag of, hoe en wanneer de rookgassen zullen ontbranden. Of er een raam of deur open staat kan al zeer veel uitmaken, net zoals de hoogte van het plafond of de brandbaarheid, hoeveelheid en vorm van het interieur. Dit leidt tot een grote variëteit aan brandontwikkeling in praktijk. Die brandontwikkeling kan fors afwijken van de gecontroleerde branden in de proefopstellingen die voor de bepaling van brandkrommen zijn gebruikt. Op basis hiervan moet geconstateerd worden dat de voorspellende waarde van brandkrommen voor een reële brand zeer gering is. De kans dat de invloedsvariabelen exact gelijk zijn aan de variabelen die voor de testen in proefopstellingen gebruikt zijn, is klein.

Verder moet opgemerkt worden dat de meeste brandmodellen ontwikkeld zijn op basis van de gebouwsituatie van jaren geleden. In de loop der jaren is de gemiddelde inventaris van woon- en kantoorruimten sterk gewijzigd en heeft er een grote toename van kunststoffen plaatsgevonden (Purser 2002). Een andere verandering in gebouwen van de afgelopen decennia is de toenemende warmte-

isolatie. Door deze isolatie worden branden soms niet of pas zeer laat opgemerkt. Veel brandweerfunctionarissen kennen gevallen waarbij een brand pas een dag na ontstaan geconstateerd en gemeld wordt, doordat de ramen (vaak dubbelglas) van een pand zwartgeblakerd zijn, maar niet gesprongen. Die goede isolatie leidt er ook toe dat een dergelijke brand niet tot volledige ontwikkeling komt, dat de post-flashoverfase niet bereikt wordt en dat een brand 'gesmoord' blijft. Een dergelijke brand kent uiteraard een totaal ander brandverloop dan in de meeste modellen aangegeven wordt. Tenslotte blijkt uit verschillende praktijkcases dat niet alleen de inventaris, maar ook het isolatiemateriaal van een pand een belangrijke bijdrage kan leveren aan het brandverloop (Helsloot 2008).

De hitteafname in de laatste fase van de brand is niet in alle modellen gelijk. De standaard brandkromme gaat uit van het aanhouden van de hoogst bereikte temperatuur gedurende enkele uren. De natural fire curves gaan uit van een snelle daling na het bereiken van de hoogste temperaturen. In de wetenschappelijke literatuur wordt verantwoording afgelegd over de basis waarop deze brandkrommen zijn gebaseerd.

5.2.2 Rook

Zoals gezegd is het ontstaan van rook voor drie zaken van belang:

1. rook belemmert het zicht waardoor ontvluchten moeilijker is;
2. rook is toxisch. De toxische effecten kunnen op lange en op korte termijn invloed hebben op lichaam en geest. De korte termijneffecten kunnen bovendien het veilig vluchten belemmeren.
3. rook leidt tot materiële schade (vervuiling en onbruikbaar raken van spullen).

Over de toxische effecten van rook is nog veel onbekend (o.a. Gann 2001 en Gann 2004). Er zijn geen modellen beschikbaar die ingaan op de toxiciteit van rook. Bij een brand is de verbranding meestal onvolledig, waardoor er een breed scala aan verbrandingsproducten ontstaat. Om beter te begrijpen hoe deze verbrandingsproducten inwerken op het menselijk lichaam (en mogelijk interfereren) moet meer onderzoek gedaan worden.

Voor zover bekend zijn er geen modellen die de materiële schade van rook tegen de tijd afzetten. Ook hierbij geldt dat de ene soort rook (bijvoorbeeld met veel roet of HCl) meer schade zal veroorzaken dan de andere soort rook.

TNO heeft (samen met andere organisaties) wel een 'rookmodel' ontworpen dat iets zegt over de 'rookdichtheid'. Dit model is vooral van belang om vast te stellen hoe lang mensen nog vrij zicht hebben in een gebouw, in verband met de ontvluchtingsmogelijkheden. Dit 'Vultijdenmodel' is een softwarepakket. Deze software en de achterliggende bepalingsmethodiek is in het kader van deze studie niet nader onderzocht.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

In deze studie wordt geconstateerd dat brand een zeer complex proces is en dat de bestudeerde brandmodellen ingaan op slechts een zeer beperkt deel van dit complexe proces. De meeste modellen gaan in op het temperatuurverloop ten opzichte van de tijd van een 'gemiddelde' brand in een 'gemiddelde' ruimte onder 'gemiddelde' omstandigheden.

De huidige focus op temperatuurverloop bij brand blijkt geen goede maatstaf voor veiligheid van personen te zijn, althans wanneer dit als enige maatstaf genomen wordt. Daarom zou er gestreefd moeten worden naar het verkrijgen of ontwikkelen van een ander model, dat meer risico's van brand beschouwd dan alleen het temperatuurverloop. De ontwikkeling van rook zou hierbij bijvoorbeeld meegenomen kunnen worden.

Tijdens het onderzoek is gebleken dat er veel misverstanden bestaan over de (beperkte) toepasbaarheid van de brandkromme op tal van terreinen. Het (onjuiste) gebruik van een brandkromme (uitgaande van het temperatuurverloop) in de discussie over opkomsttijden is daar een sprekend voorbeeld van. Blijkbaar ontbreekt het in Nederland op grote schaal aan voldoende kennis over de modelmatige benadering van brandverloop en de praktische bruikbaarheid van die benadering.

Een modelmatige benadering van brand kan een belangrijke bijdrage leveren aan inzicht over hoe een brand zich in een bepaalde situatie kan ontwikkelen en wat dit betekent voor de overlevingskansen van eventueel nog aanwezige mensen. Dit kan van groot nut zijn voor het vaststellen van de meest effectieve brandpreventieve maatregelen en voor het bepalen van de meest efficiënte en veilige inzetactie bij brand.

6.2 Aanbevelingen

Over de ontwikkeling van rook en de schadelijke effecten van rook is nog relatief weinig bekend. Wetenschappelijke literatuur is hier niet eenduidig over. Een model dat de schadelijkheid van rook in ogenschouw neemt, heeft alleen zin als er wetenschappelijk gevalideerde uitspraken gedaan kunnen worden over die schadelijke effecten van rook en over de rookproductie en de samenstelling van rook in relatie tot de tijd en in relatie tot de hitteontwikkeling.

In deze studie is geconstateerd dat er in Nederland (en bij Nederlandse brandweerfunctionarissen in het bijzonder) weinig kennis is over modelmatige benaderingen van brandverloop. Vanwege dit geconstateerde gebrek aan kennis, zou in de les- en leestof van de brandweer meer aandacht moeten komen voor de achtergrond van brandkrommen en dienen de beperkingen in de toepassing van de brandkromme explicieter benoemd te worden.

Meer geavanceerde brandmodellen kunnen gebruikt worden voor het stellen van preventieve eisen en repressieve eisen en voor het bevorderen van veilig repressief optreden. De brandbeveiligingsconcepten zouden herzien kunnen worden op basis van de herziene inzichten over het modelleren van brandverloop. Ook kan er tot

een beter onderbouwde normering van opkomsttijden gekomen worden. En tenslotte kan gemodelleerd brandverloop opgenomen worden in brandweeropleidingen zodat het inzicht in modelmatig brandverloop een realistische inschatting van veilige inzetmogelijkheden bevordert.

Literatuur

- AVD 2005 *Leidraad repressieve basisbrandweezorg* (Adviesbureau Van Dijke in opdracht van BZK en NVBR, november 2005)
- Barnett 2002 C.R. Barnett, 'BFD-curve: a new empirical model for the compartment temperatures' *Fire Safety Journal* 37 (2002) 437-463
- Blomqvist 2005 P. Blomqvist, *Emissions from fire. Consequences for human safety and the environment*. Doctoraalthese, Lund University (Lund, Zweden 2005)
- Bukowski 2006 Richard W. Bukowski, 'Determining Design Fires for Design-level and Extreme Events', SFPE 6th International Conference on Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods, June 14-16, 2006, Tokyo
- Bwalya 2004 Bwalya, A, M. Sultan, N. Bénichou, *A Literature review of design fires for fire safety engineering* NRCC-38453 (Toronto 2004)
- BZK 1992 *Handleiding brandweezorg* (BZK 1992)
- Gann 2001 Richard G. Gann, Jason D. Averill, Kathryn M. Butler, Walter W. Jones, George W. Mulholland, Julie L. Neviasser, Thomas J. Ohlemiller, Richard D. Peacock, Paul A. Reneke & John R. Hall Jr., International Study of the Sublethal Effects of Fire Smoke on Survivability and Health (SEFS): Phase I Final Report. (NIST Technical Note 1439; augustus 2001)
- Gann 2004 R.G. Gann, 'Estimating data for incapacitation of people by fire smoke' *Fire technology* 40.
- Goudsblom 2007 J. Goudsblom, 'Vuur, brand en brandweer: een sociologisch-historisch overzicht' in: I. Helsloot, E.R. Muller en J.D. Berghuijs, *Brandweer. Studies over organisatie, functioneren en omgeving* (Kluwer, Deventer 2007) 25-46
- Handleiding 1992 *Handleiding brandweezorg* (SAVE/BiZa 1992)
- Helsloot 2008 I. Helsloot, E. Oomes, R. Weever, *Verkenkend onderzoek. Brand met dodelijke afloop in De Punt* (18 juni 2008)
- Industriegebouwen *Brandbeveiligingsconcept industriegebouwen* (Ministerie van Binnenlandse Zaken, Directie

| | |
|----------------------|---|
| | Brandweer en Rampenbestrijding, Afdeling Preventiebeleid, Den Haag 1995) |
| IOOV 2006 | Inspectie Openbare Orde en Veiligheid, <i>Rapportage risicoanalyse domein brandweezorg 2006</i> (Den Haag 2006) |
| IOOV 2007 | Inspectie Openbare Orde en Veiligheid, <i>Operationele prestaties brandweer. 'Opkomsttijden'. Knelpunten en oplossingen</i> (Den Haag 2007) |
| ISO 1999 | ISO/TR 13387-2 Technical Report; Fire safety engineering – Part 2: Design fire scenarios and design fires (ISO 1999) |
| ISO 2004 | ISO/TS 19706:2004; Guidelines for assessing the fire treat to people (ISO 2004) |
| Kobes 2008 | M. Kobes, <i>Zelfredzaamheid bij brand. Kritische factoren voor het veilig vluchten uit gebouwen</i> (Boom Juridische uitgevers 2008) |
| Nibra 2001 | <i>Onderbrandmeester/brandmeester Repressie keuze</i> (Nibra 2001) |
| Nibra 2005 | <i>Brandverloop</i> (Nibra 2005) |
| Oomes 2006 | Ed Oomes, <i>De vanzelfsprekendheid van alledag. Een beschouwing in drie delen over de gewoonten in het brandweervak</i> (Lectorale rede, Arnhem 15 september 2006) |
| Peacock 2004 | Richard D. Peacock, Jason D. Averill, Paul A. Reneke & Walter W. Jones, 'Characteristics of Firs Scenarios in Which Sublethal Effects of Smoke are Important', <i>Fire Technology</i> 40 (2004), 127-147 |
| PGS 1A 2003 | <i>Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 1. Deel 1A: Effecten van brand op personen</i> (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, Ministerie van SZW en Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag 2003) |
| Publieksfunctie 1995 | <i>Brandbeveiligingsconcept gebouwen met een publieksfunctie</i> (Ministerie van Binnenlandse Zaken, Directie Brandweer en Rampenbestrijding, Afdeling Preventiebeleid, Den Haag 1995) |
| Purser 2002 | David A. Purser, 'Toxicity assessment of combustion products' in: <i>The SFPE handbook of fire protection engineering</i> , third edition, 2002 |
| Särdqvist 2000 | Stefan Särdqvist & Göran Holmstedt, 'Correlation Between Firefighting Operation and Fire Area: Analysis |

of Statistics', *Fire Technology* Vol. 36 no. 2, 2000 109-130

Save 2008

Reactie Save op Besluit veiligheidsregio's "Eisen basisbrandweezorg" (Save, 16 april 2008)

Studiedag 2004

Dia's bij presentatie 'Studiedag COBc/Stadswerk, 28 oktober 2004.

Valorisation 2001

Valorisation Project. Natural Fire Safety Concept
(Profilarbed-Research 2001)

Zehfuss 2007

J. Zehfuss, D. Hosser, 'A parametric natural fire model for the structural fire design of multi-storey buildings', *Fire Safety Journal* 42 (2007) 115-126.