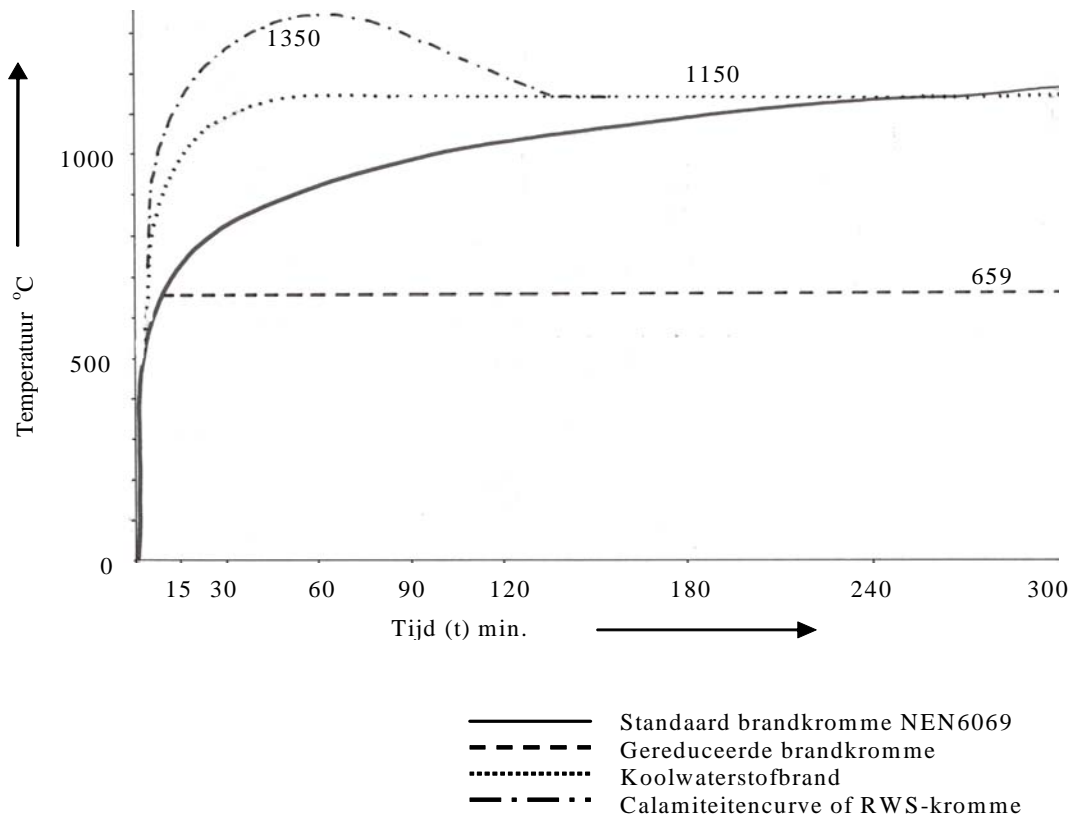


## Fysisch brandmodel

Kennisbank Bouwfysica  
Auteur: Ruud van Herpen MSc.

### 1 Brandscenario: temperatuur vs. brandvermogen

Voor de bepaling van de brandwerendheid van constructies wordt in de Nederlandse regelgeving uitgegaan van een door de brand opgelegde tijdsafhankelijke temperatuur op deze constructies, de zogenaamde standaard brandkromme. Naast deze standaard brandkromme worden in Nederland ook andere brandkrommen gehanteerd bij het stellen van (privaatrechtelijke) eisen aan de brandwerendheid van constructies (zie figuur 1). Deze brandkrommen hebben met elkaar gemeen dat het gaat om een opgelegde tijdsafhankelijke temperatuur op de betreffende constructies.

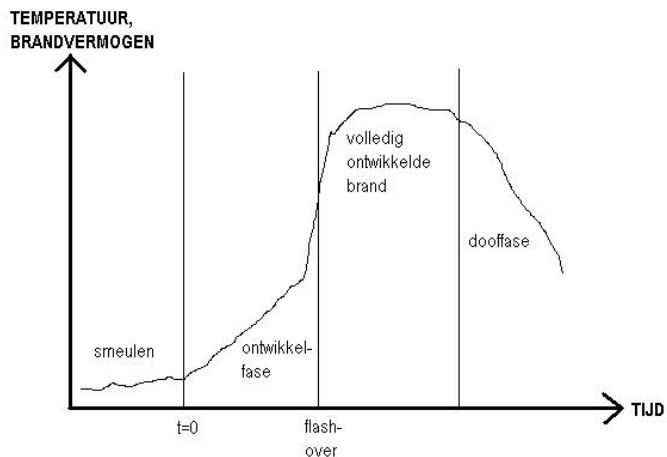


figuur 1. brandverloop volgens gedefinieerde brandkrommen

Het nadeel van deze brandkrommen is dat geen rekening wordt gehouden met de aard van de brandstof, de hoeveelheid brandstof en de dichtheid ervan. Evenmin wordt rekening gehouden met de geometrie van de brandruimte waarin de brandhaard is gesitueerd en het effect van eventuele (gevel)openingen. Het werkelijke brandverloop kan daardoor aanzienlijk afwijken van de standaard brandkrommes. In figuur 2 is een voorbeeld gegeven van een meer realistisch brandverloop. De grootte op de verticale as in deze figuur kan worden gelezen als temperatuur, maar realistischer is het om dit als brandvermogen te zien. Immers, de

temperatuur in de brandruimte is geen vaststaand gegeven, maar een gevolg van het brandvermogen en de geometrie van de brandruimte. Niet de temperatuur, maar het brandvermogen dient als grootte in het fysisch brandmodel gehanteerd te worden.

### BRANDVERLOOP BIJ BRAND IN EEN BRANDRUIMTE



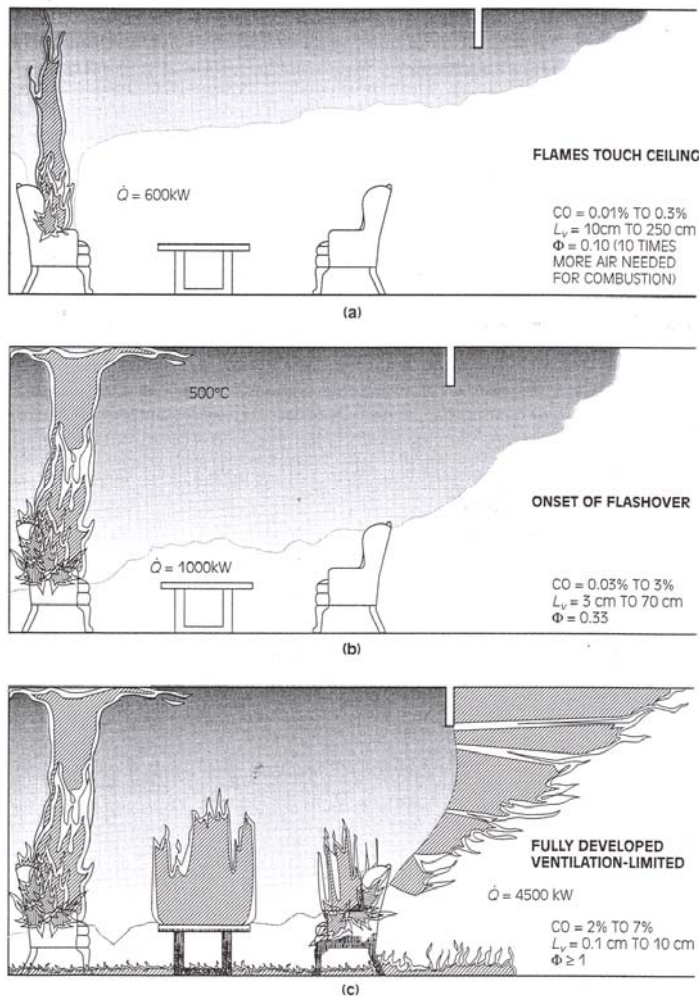
figuur 2. realistisch brandverloop bij brand in een ruimte

## 2 Brandscenario: fasen in het brandverloop

In het brandvermogenverloop volgens figuur 2 zijn de volgende fasen te onderscheiden:

- de smeulfase (voordat de brand daadwerkelijk als open vuur ontstaat);
- het ontstaan van de brand (op tijdstip  $t=0$ );
- de ontwikkelfase van de brand, tot het moment dat flash-over in de brandruimte optreedt;
- de volledig ontwikkelde brand, die na het optreden van de flash-over ontstaat;
- de dooffase die na verloop van tijd optreedt als gevolg van brandstoftekort of actieve onttrekking van het brandvermogen (blussing).

In figuur 3 is dit brandverloop schematisch door middel van drie momentopnamen in een brandruimte weergegeven.



figuur 3. illustratie van het brandverloop in een (woon)ruimte

Het zal duidelijk zijn dat in de ontwikkelfase van een brand, deze altijd brandstofbeheerst is, dat wil zeggen dat de brandontwikkeling door de hoeveelheid brandstof en de aard ervan wordt bepaald. Aangezien er in deze fase genoeg brandstof voorhanden is, groeit het brandvermogen snel. De vanuit de brandhaard afgevoerde rook- en verbrandingsgassen cumuleren tegen het plafond van de brandruimte. Hierdoor ontstaat stratificatie in twee zones: een hete zone bovenin de brandruimte, waarin zich de rook en verbrandingsgassen bevinden, en een relatief koude zone daaronder.

Flash-over treedt op wanneer de hete zone zo heet wordt, dat de hierin aanwezige verbrandingsgassen spontaan tot ontbranding overgaan, of dat de warmtestralingsflux vanaf de hete zone zo groot wordt dat de brandstof (vuurlast) spontaan in de hele ruimte tot ontbranding overgaat. Dit geeft in korte tijd een grote toename van het brandvermogen. Opeens staat de hele brandruimte in brand en kan van een volledig ontwikkelde brand worden gesproken. Daarbij gaat het tweezone model van de brandruimte over in een eenzone model.

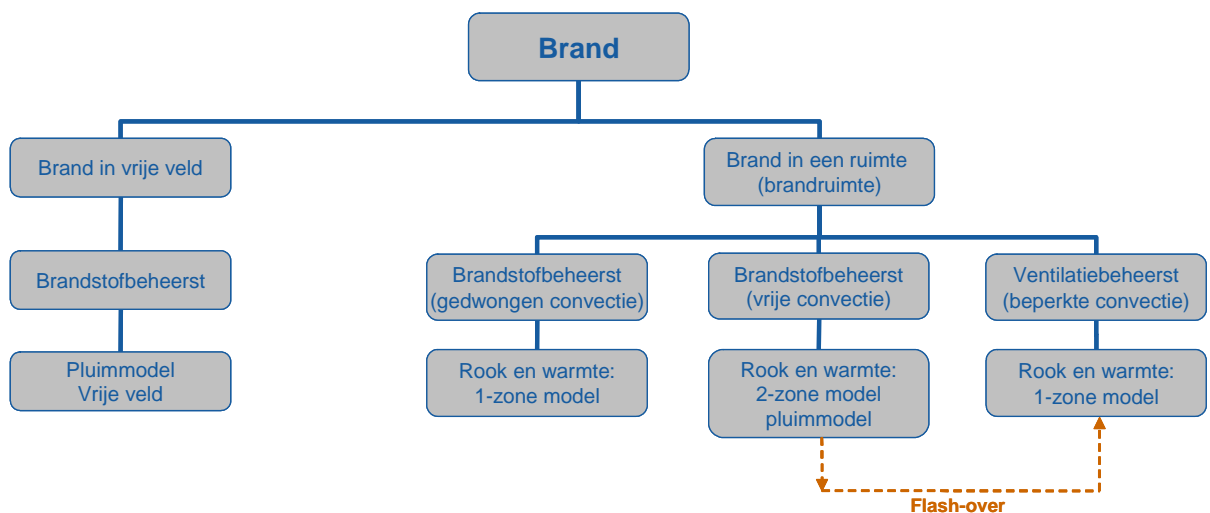
De brand is in dat geval vrijwel altijd ventilatiebeheerst: de brandhaard vraagt voor een volledige verbranding meer zuurstof dan via openingen in de scheidingsconstructie van de brandruimte kan worden toegevoerd. Er ontstaat dus een onvolledige verbranding, waarbij het brandvermogen wordt beperkt tot een min of meer constant maximumniveau. Dit

maximumniveau is dus een typisch gevolg van de vorm en grootte van de brandruimte en de openingen in de scheidingsconstructies ervan.

Het min of meer constante brandvermogen bij een volledig ontwikkelde brand zal na verloop van tijd gaan afnemen als gevolg van brandstoftekort of actief ingrijpen van buitenaf (blussing). Bij blussing met water zal door het water een aanzienlijk deel van het brandvermogen worden onttrokken. Bij blussing met schuim of poeder wordt de brandstof geïsoleerd van de omgeving, waardoor geen zuurstof meer kan toetreden en uitdoving plaatsheeft.

### 3 Consequenties van het brandscenario voor personen en constructies

Uit de beschreven scenario's in de voorgaande paragraaf blijkt dat een brandscenario, of brandfysisch model, meer inhoudt dan het bepalen van het tijdsafhankelijke brandvermogen (brandvermogenskromme). Brandvermogen, rookproductie en rook/warmteverspreiding zijn sterk met elkaar verweven. Vandaar dat een zonemodel onderdeel moet uitmaken van het brandfysische model. Dit is samengevat in het diagram van figuur 4.



figuur 4. stroomschema voor bepaling van het brandscenario

In het stroomschema van figuur 4 zijn voor een brand in een (besloten) ruimte drie situaties onderscheiden:

- een brandstofbeheerste brand (brandstof is bepalend voor het brandvermogen); hiervan is gewoonlijk sprake bij een ontwikkelende brand in de brandruimte;
- een brandstofbeheerste brand met gedwongen convectie (overgeventileerde brand); hiervan is gewoonlijk sprake bij een brandstofbeheerste brand met mechanische toevoer (b.v. stuwkrachtventilatie) waardoor een turbulente, ongemengde omgeving in de brandruimte ontstaat;
- een ventilatiebeheerste brand (zuurstoftoevoer is bepalend voor het brandvermogen); hiervan is gewoonlijk sprake bij een volledig ontwikkelde brand in de brandruimte (b.v. na flash-over).

In het 2-zone model is ter plaatse van de brandhaard een pluim van vlammen en hete verbrandingsgassen aanwezig. De consequenties voor personen en constructies in de brandruimte worden dus niet alleen bepaald door de straling en convectie vanaf de hete zone, maar ook door de straling en convectie vanaf de pluim (lokaal effect). In het 2-zone model dient dus ook een pluimmodel te zijn opgenomen.

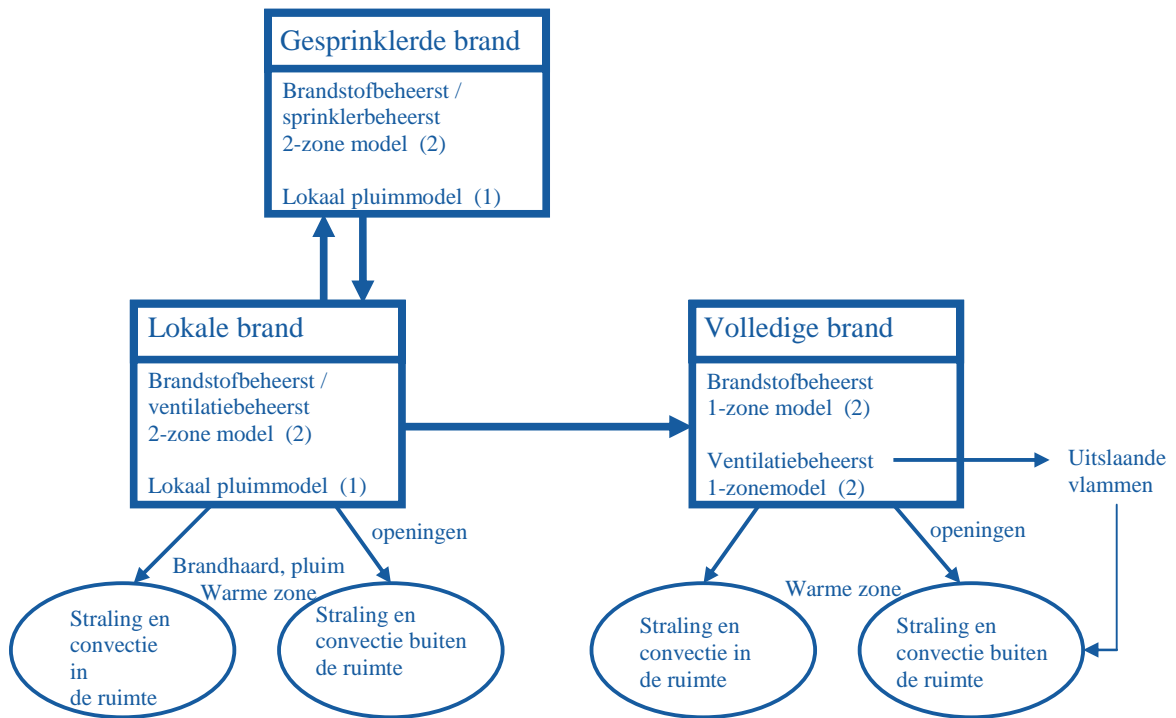
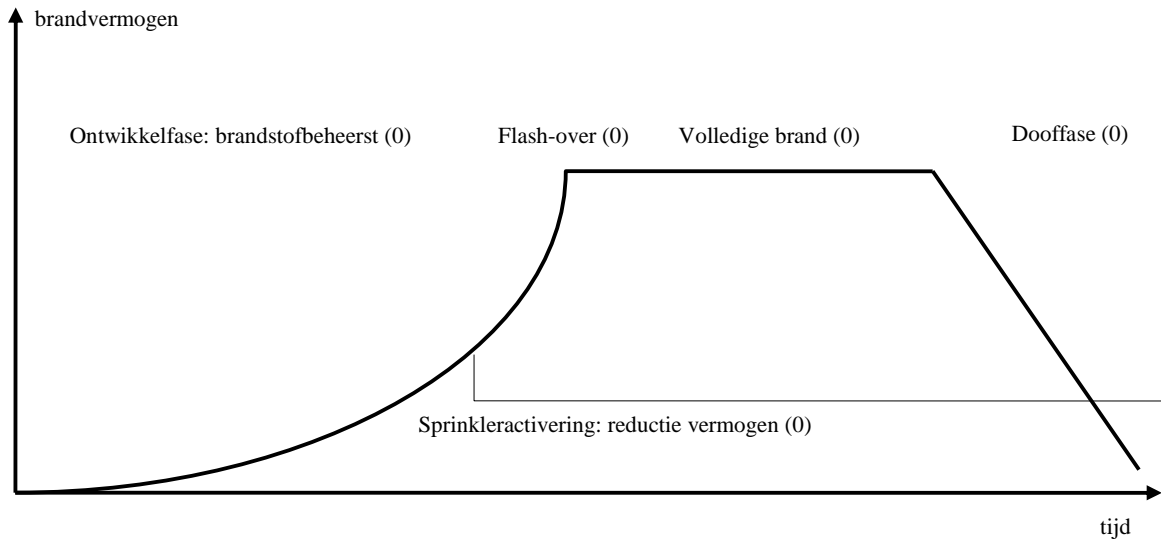
Daarnaast is in figuur 4 ook een brand in het vrije veld beschouwd, zoals kan voorkomen op terreinen en in bouwwerken, geen gebouw zijnde. Dergelijke onbelemmerde branden zijn altijd brandstofbeheerst. Een zonemodel is voor een vrije veldbrand niet van belang, er kan immers ook geen cumulatie van rook en verbrandingsgassen optreden. Over het algemeen zal hier alleen een pluimmodel van toepassing zijn.

Wanneer het brandscenario volgens figuur 4 is vastgesteld, kunnen vervolgens de thermische actoren (warmtebelasting door straling en convectie) voor constructies en personen worden bepaald, ten gevolge van het afgegeven vermogen van de brandhaard. Belangrijk hierbij is om de verdeling tussen het convectief afgegeven vermogen en het door straling afgegeven vermogen te bepalen.

Ook de binnenmilieu-actoren voor personen in de brandruimte (in dit geval worden alleen de fysische actoren rookdichtheid en zichtlengte beschouwd) hangen van ditzelfde brandscenario af. Het rookpotentieel van de brandstof moet daarbij bekend zijn.

Deze consequenties voor personen en constructies zijn weergegeven in figuur 5 op de volgende pagina. De invoergegevens zoals referentievermogensdichtheid, tijdconstante, overgangsvoorwaarden tussen 2-zone en 1-zone model zijn in de figuur aangegeven met (0). Het zonemodel is aangegeven met (1) en het lokale pluimmodel met (2).

Daarnaast zijn nog diverse overdrachtsmodellen noodzakelijk, waarmee de straling en convectie vanaf de brandhaard en vanuit de openingen van de brandruimte bepaald kan worden. Bij een ventilatiebeheerste brand levert de onvolledige verbranding een complicerende factor: Bij de convectieve afvoer via openingen van de brandruimte treedt een verdere verbranding op van de verbrandingsgassen. Hierdoor ontstaan uitlaande vlammen. Deze uitlaande vlammen vergroten de thermische belasting op personen en constructies buiten de brandruimte en dienen met een vlammodel (bijvoorbeeld het model van Law) bepaald te worden.



**Binnenmilieu-actoren en thermische actoren**

figuur 5. Bepaling van de thermische actoren (warmtebelasting door straling en convectie) en binnenmilieu-actoren (rookdichtheid en zichtlengte) als gevolg van een gegeven brandscenario

#### 4 Huidige ontwikkelingen

Het bepalen van de consequenties buiten de brandruimte ten gevolge van warmte-afvoer via de scheidingsconstructie van de brandruimte of via openingen hierin, is het meest ingewikkeld. Hierbij spelen immers ook eigenschappen van de scheidingsconstructie een rol en dienen de eventuele vlamlichamen vanuit openingen in de scheidingsconstructie gemodelleerd te worden. Er is dus een overlap aanwezig met NEN 6068 (WBO-bepaling: Weerstand tegen brandoverslag door straling). Daarnaast is er ook een overlap met NEN 6093 (RWA-bepaling: Rook- en warmteafvoer) aanwezig voor wat betreft de convectieve warmteafvoer vanuit openingen in de scheidingsconstructie.

Om recht te doen aan de genoemde normbladen dient het fysisch brandmodel aansluiting te vinden met het in deze normbladen gehanteerde brandmodel. Aangezien in deze normbladen een ventilatiebeheerst brandmodel wordt gehanteerd in plaats van een temperatuurkromme (zoals de standaard brandkromme) is aansluiting hierop in principe mogelijk. Hiervoor moeten in het brandfysisch model wellicht voorzieningen worden getroffen, aangezien de brandscenario's in NEN 6068 en NEN 6093 stationair zijn en niet dynamisch in de tijd. Het feit dat ook de brandscenario's van NEN 6068 en NEN 6093 niet met elkaar overeenkomen levert een extra hindernis.

De richtlijn vultijdenmodel grote brandcompartimenten (TNO-rapporten 96-CVB-R0330(1) en 96-CVB-R0330(2)) beschrijft een convectief model dat veel overeenkomst vertoont met NEN 6093, maar wel dynamisch is in de tijd. Het betreft in principe een tweezone model dat betrekkelijk eenvoudig ook met een eenzone variant is uit te breiden. In het model wordt echter slechts beperkt rekening gehouden met de geometrie van de brandruimte. Zo is het brandscenario bij voorbeeld geheel onafhankelijk van de geometrie van de brandruimte. De brandvermogensgroei is dus feitelijk brandstofbeheerst; daardoor is het model alleen toepasbaar voor grote compartimenten met een relatief kleine brandhaard. Overigens is er voor deze brandstofbeheerste brandvermogensgroei, evenals voor de referentie vermogensdichtheid in het model een bruikbare classificering opgenomen.

In de Europese Eurocode EN 1991-1-2 worden brandscenario's beschreven die op meer realistische randcondities en uitgangspunten zijn gebaseerd. Naast een brandstofbeheerst brandscenario wordt bij een grotere brandomvang ook met een ventilatiebeheerst brandscenario rekening gehouden. Het brandscenario wordt dan dus mede bepaald door de geometrie van de brandruimte (conform model van M. Law, dat ook ten grondslag ligt aan bij voorbeeld NEN 6068).

Ook actieve brandbeveiligingsmaatregelen (brandbeheersing, rookbeheersing en repressie) worden gewaardeerd in de Eurocodes. Voor een deel kunnen de actieve brandbeveiligingsmaatregelen in het brandmodel worden opgenomen. Indien dit niet mogelijk is zal met forfaitaire waarden of correctiefactoren moeten worden gerekend.

Daarnaast geven de Eurocodes een verfijning voor de classificatie van referentie brandvermogensdichtheden, die aansluiten op de gebruiksfunctie van de brandruimte. Deze verfijning kan worden gebruikt om aan te sluiten op de gebruiksfuncties die in het Bouwbesluit 2003 zijn gedefinieerd.

Er zijn inmiddels ook rekenmodellen beschikbaar (CFAST, OZone) die gebaseerd zijn op dit zogenaamde "Natural Fire Safety Concept".

## LITERATUUR

NEN-, EN- en ISO-normbladen zijn buiten het literatuuroverzicht gelaten.

Cadorin, Jean-Francois, 2003. Compartment fire models for structural engineering. Thèse de doctorat, Université de Liège, Liège (B).

Schleich, J.B. et al., 2001. Profil/Arbed 2001 valorisatieproject: Natuurlijk brandconcept – eindrapport. Centre de Recherches Profil/Arbed, Esch/Alzette (L).

Drysdale, Dougal, 1998. An introduction to fire dynamics, second edition. John Wiley and sons, Chichester (UK).

Quintiere, James G., 1998. Principles of Fire Behavior. Delmar Publishers, Albany, NY (USA).

McGrattan, Kevin B., et al., 2002. Fire Dynamics Simulator (version 3) – technical reference guide. NIST (NISTIR 6783), Department of Commerce, Gaithersburg (USA).

Jones, Walter W. et al., 2003. A technical reference for CFAST: an engineering tool for estimating fire and smoke transport. NIST (technical note 1431), Department of Commerce, Gaithersburg (USA).

Van Oerle, N.J., E.W. Janse en P.H.E. van de Leur, 1996. Richtlijn vultijdenmodel grote brandcompartimenten. TNO rapport 96-CVB-R0330 (1), Rijswijk (NL).

Van Oerle, N.J., E.W. Janse en P.H.E. van de Leur, 1996. Achtergronden vultijdenmodel grote brandcompartimenten. TNO rapport 96-CVB-R0330 (2), Rijswijk (NL).