

## Brandscenario's

Kennisbank Bouwfysica  
Auteur: Ruud van Herpen MSc.

### 1 Wat is brand?

Brand roept associaties op met vuur, vlammen, rook en hitte. Dat komt omdat brand zich altijd manifesteert in een of meer van deze componenten.

Meestal kost het enige energie om een brand te initiëren. Deze initiële energie is echter niet meer dan een katalysator: wanneer er eenmaal brand is, houdt de brand stand (of breidt zelfs uit) zolang er brandstof en zuurstof aanwezig is. Pas als er een tekort aan een van beiden ontstaat, dooft de brand uit. Blijkbaar is verbranding dus een oxidatieproces waarbij veel energie vrijkomt. Het is een exotherme reactie; het materiaal dat wordt verbrand komt in een lagere energetische evenwichtstoestand. Om die reden houdt een brand zichzelf in stand wanneer deze eenmaal geïnitieerd is.

*Brandstof + zuurstof → verbrandingsproducten + energie*

Hierin is:

- Brandstof: het brandbare materiaal, in veel gevallen koolstofverbindingen (zoals in organische producten);
- Verbrandingsproducten: het verbrandingsproduct zowel in vaste vorm als in gasvorm. De verbrandingsgassen bevatten vrijwel altijd CO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>O (waterdamp), afhankelijk van de brandstof. Daarnaast bevatten verbrandingsgassen vaak vaste deeltjes (roet), onvolledig verbrande producten en brandbare gassen;
- Energie: temperatuurverhoging als gevolg van de exotherme reactie. Dit leidt tot vlammen, bij verbranding van de brandbare gassen die in deze reactie vrijkomen.

Het bovenstaande impliceert dat de verbranding instantaan plaatsheeft daar waar brandstof en zuurstof gelijktijdig aanwezig zijn. Dit houdt in dat ofwel alle aanwezige zuurstof wordt verbrand, ofwel alle aanwezige brandstof. De verbrandingssnelheid is dus onafhankelijk gesteld van de chemische reactiesnelheid en van de turbulente menging van de brandstof met de zuurstof. Deze verbrandingsmodellering wordt het "mixed is burnt"-principe genoemd.

### 2 Brandtypen

#### 2.1 Brandstofbeheerste brand (vrije convectie)

Bij een brandstofbeheerste brand is de reactiesnelheid, en dus de afbrandsnelheid, alleen afhankelijk van de brandstof. Zuurstof wordt in voldoende mate aanwezig geacht; de zuurstofoetreding is dus onbelemmerd. Dit wordt vrije convectie genoemd.

In de ontwikkelfase is een brand altijd brandstofbeheerst. Bij een brand in een ruimte is de brandomvang in aanvang klein ten opzichte van het ruimtevolumen, zodat zuurstof in voldoende mate aanwezig is. In de stationaire fase (eindsituatie: de brandomvang is dan toegenomen tot de totaal aanwezige brandstof of vuurlast) is de brand brandstofbeheerst, zolang er voor wat betreft de zuurstofoetreding nog steeds uitgegaan kan worden van vrije convectie. Dit is bij voorbeeld het geval bij een brand in de buitenlucht.



figuur 1. palletbrand in een grote ruimte; dit is een brandstofbeheerste brand

In de ontwikkelfase wordt ervan uitgegaan dat de brand in alle richtingen even snel uitbreidt. Dit betekent dat het brandvermogen kwadratisch toeneemt in de tijd. In formulevorm:

$$Q(t) = 2 \cdot k_{ref} \cdot \left( \frac{t}{t_{ref}} \right)^2 \quad (1a)$$

totdat de stationaire situatie is bereikt:

$$Q(t) = k_{ref} \cdot A_{ref} \quad (1b)$$

Hierin is:

Q(t)	brandvermogen in de tijd [W]
$k_{ref}$	referentie vermogensdichtheid [ $W/m^2$ ]
$A_{ref}$	referentie brandoppervlakte [ $m^2$ ]; deze is doorgaans 0,5 à 1 maal de grootte van het brandcompartiment
$t_{ref}$	tijdconstante [s/m]
t	tijd vanaf ontstaan brand [s]

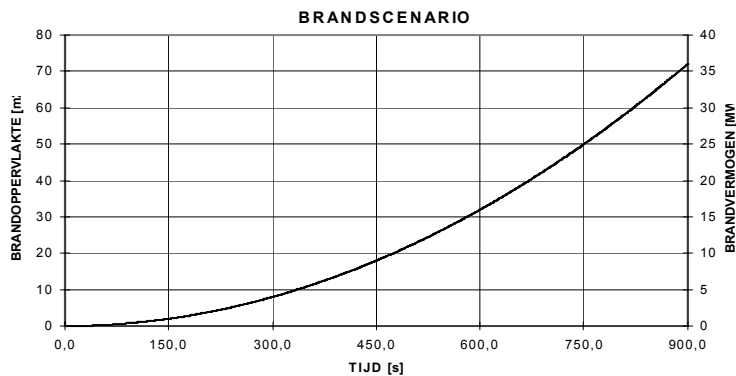
De ontwikkeling van het brandvermogen wordt dus bepaald door de referentie vermogensdichtheid ( $k_{ref}$ ) en door de tijdconstante ( $t_{ref}$ ). In het vultijdmodel van TNO-Bouw wordt voor het brandscenario in grote ruimten de volgende classificatie gehanteerd:

- brandscenarioklasse I:  $k_{ref} = 200 \text{ kW/m}^2$ ;  $t_{ref} = 600 \text{ s/m}$
- brandscenarioklasse II:  $k_{ref} = 500 \text{ kW/m}^2$  (per  $m^1$  vuurlasthoogte);  $t_{ref} = 150 \text{ s/m}$
- brandscenarioklasse III:  $k_{ref} = 500 \text{ kW/m}^2$  (per  $m^1$  vuurlasthoogte);  $t_{ref} = 75 \text{ a } 600 \text{ s/m}$
- brandscenarioklasse IV:  $k_{ref} = 400 \text{ a } 2500 \text{ kW/m}^2$ ;  $t_{ref} = 150 \text{ a } 600 \text{ s/m}$

De brandscenarioklassen III en IV zijn verder verdeeld in subklassen, die afhangen van de aard en hoeveelheid aanwezige vuurbelasting.

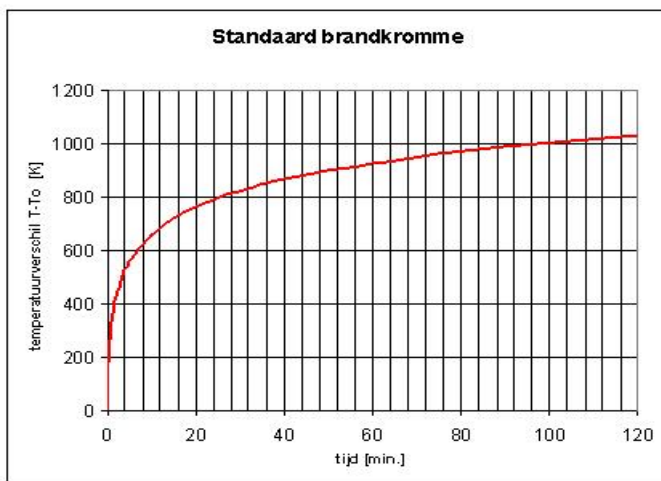
Voor de brandscenarioklassen geldt het volgende toepassingsgebied:

- brandscenarioklasse I: niet-industriegebouw *en* vuurbelasting < 8 kg/m<sup>2</sup> v.e. (<152 MJ/m<sup>2</sup>);
- brandscenarioklasse II: niet-industriegebouw *en* vuurbelasting > 8 kg/m<sup>2</sup> v.e. (>152 MJ/m<sup>2</sup>);
- brandscenarioklasse III: niet-industriegebouw *en* past niet in klasse I of II; *of* industriegebouw met opslagfunctie;
- brandscenarioklasse IV: Industriegebouw met productiefunctie



figuur 2. brandscenario bij een referentievermogensdichtheid van 500 kW/m<sup>2</sup> en een tijdconstante van 150 s (brandscenarioklasse II)

Naast de bovenvermelde brandscenarioklassen wordt in de ontwikkelfase van een brand voor de temperatuurontwikkeling in de brandruimte ook vaak gebruik gemaakt van de standaard brandkromme. De standaard brandkromme gaat eveneens uit van vrije convectie. Deze standaard brandkromme is het uitgangspunt in de Nederlandse normbladen.

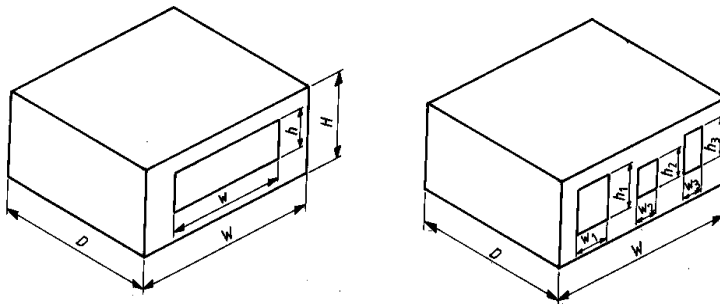


figuur 3. standaard brandkromme voor het temperatuurverloop in de brandruimte

## 2.2 Ventilatiebeheerste brand (beperkte convectie)

Wanneer de brandomvang groot is en het brandcompartiment slechts beperkte openingen bezit waardoor luchttoevoer en rookafvoer kan optreden, zal een ventilatiebeheerste brand ontstaan. De luchttoevoer is immers niet meer onbeperkt; er is dus geen vrije convectie meer. Het brandvermogen wordt dan ook niet langer bepaald door de aanwezige brandstof, maar door de beschikbaarheid van zuurstof. Wanneer eenmaal de aanwezige zuurstof in het ruimtevolume is verbruikt betekent dit dat het brandvermogen wordt bepaald door de mate van zuurstoftoetreding (stationaire eindsituatie). Vandaar dat men in dat geval van een ventilatiebeheerste brand spreekt, met een beperkte convectie.

Door de beperking van de luchttoevoer zal het brandvermogen in de stationaire situatie uiteraard lager zijn dan bij een brandstofbeheerste brand het geval is volgens formule (1b). Het brandvermogen waarmee in dat geval gerekend moet worden in de stationaire situatie kan uit de modellen van NEN 6093 (genormeerde rekenmethode voor de bepaling van de rook- en warmteafvoervoorzieningen) en NEN 6068 (genormeerde rekenmethode voor bepaling van het brandoverslagrisico en de modellering van een brand in de brandruimte) worden afgeleid.



figuur 4. modellering van openingen in de brandruimte volgens NEN 6068 om de vermogensdichtheid bij een ventilatiebeheerste brand te kunnen berekenen

De bepaling van de referentie afbrandsnelheid (brandvermogen) en de bijbehorende gastemperatuur in de brandruimte wordt in NEN 6068 als volgt bepaald:

Referentie afbrandsnelheid:

$$R_r = 0,18 \cdot \frac{(1 - e^{-0,036 \cdot \eta})}{\sqrt{D \cdot W_{ref}}} \cdot A_{wg} \sqrt{h_g} \quad (2) \text{ [kg/s]}$$

Maatgevende gastemperatuur:

$$T_f = 6000 \cdot \frac{(1 - e^{-0,1 \cdot \eta})}{\sqrt{\eta}} \cdot (1 - e^{-0,05 \cdot \psi}) + T_o \quad (3) \text{ [K]}$$

Hulpgrootheden:

$$\eta = \frac{A_t}{A_{wg} \cdot \sqrt{h_g}}$$

$$\psi = \frac{0,5 \cdot L_{ref}}{\sqrt{A_{wg} \cdot A_t}}$$

$$\text{(referentie vuurlast)} \quad L_{ref} = A_{ref} \cdot V_{ref} \quad [\text{kg}]$$

$$\text{(referentie wandoppervlak)} \quad A_t = 2 \cdot D \cdot W_{ref} + 2 \cdot (D + W_{ref}) \cdot h_g - A_{wg} \quad [\text{m}^2]$$

Hierin is:

D	diepte brandruimte
$W_{ref}$	referentie breedte van de brandruimte
$A_{ref}$	referentie vloeroppervlakte van de brandruimte
$A_t$	referentie wandoppervlakte van de brandruimte
$A_{wg}$	totale referentiebreedte van de gevelopeningen van de brandruimte
$h_g$	gemiddelde hoogte van gevelopeningen van de brandruimte
$V_{ref}$	referentie vuurlast in de brandruimte
$L_{ref}$	referentie vuurlast in de brandruimte

De vuurlast wordt traditiegetrouw vaak uitgedrukt in [kg] vurenhoutequivalent. Dit komt overeen met een verbrandingsenergie van 19 [MJ/kg].

In de modellen wordt verondersteld dat een ventilatiebeheerste brand alleen kan ontstaan door beperking van de luchttoevoer als gevolg van de omhullende constructie (de begrenzings van het brandcompartiment). Dit is niet helemaal terecht. Een brand kan ook ventilatiebeheerst zijn als gevolg van de brandhaard zelf. Wanneer het zuurstofvolume in de brandhaard is opgebrand, geldt hiervoor evengoed dat de toevoer van zuurstof onbelemmerd moet kunnen plaatshebben om de brand brandstofbeheerst te houden. Wanneer het gaat om een bulkopslag (zoals bij voorbeeld bij cacao het geval kan zijn) is zuurstoftoetreding haast onmogelijk wanneer het totale oppervlak van de bulkopslag in brand staat. Het brandende oppervlak voorkomt zuurstoftoetreding, terwijl er bij deze vorm van opslag geen andere mogelijkheden voor zuurstoftoetreding aanwezig zijn. Ook bij de opslag van papier- en tapijttrollen speelt dit verschijnsel. Eigenlijk is bij elke compacte opslag (hoge vuurlast in een klein volume) sprake van een ventilatiebeheerst brandscenario door een beperkte convectie.

Een genormeerde methode voor het berekenen van het brandvermogen bij een compacte opslag is niet voorhanden. Wellicht kan hiervoor hetzelfde model gebruikt worden als voor een brandruimte (zoals in NEN 6068), waarbij de brandruimte fictief wordt geschematiseerd tot de maximale omvang van de brandhaard, met fictieve begrenzings die als geheel open worden beschouwd. Enige nuancering in de interpretatie van deze resultaten is dan wel noodzakelijk!

Het onderscheid tussen een brandstofbeheerste en een ventilatiebeheerste brand is belangrijk om de volgende redenen:

- het brandvermogen van een ventilatiebeheerste brand is kleiner dan van een brandstofbeheerste brand;
- de temperatuur in de brandruimte is bij een ventilatiebeheerste brand lager dan bij een brandstofbeheerste brand;
- de kans op onvolledige verbranding is groter bij een ventilatiebeheerste brand. Daardoor bevinden zich meer brandbare gassen in de rook en is de rook ook giftiger, onder andere door de aanwezigheid van CO (koolmonoxide). Bij een ventilatiebeheerste brand moet men dus beducht zijn op flash-over en backdraft-effecten.

Hoewel een ventilatiebeheerste brand een aantal voordelen blijkt te bezitten ten opzichte van een brandstofbeheerste brand, moet te allen tijde worden voorkomen dat de brand zodanig wordt gesmoord dat een gevaarlijke situatie ontstaat door flash-over en backdraft. Vandaar

dat, met bij voorbeeld rook- en warmteafvoervoorzieningen, toch een bepaalde mate van ventilatie in stand wordt gehouden.

### 2.3 Ventilatiebeheerste brand (gedwongen convectie)

Wanneer de zuurstoftoetreding naar de brandhaard wordt geforceerd zodanig dat er meer zuurstofvolume voor verbranding beschikbaar is als bij vrije convectie, zal het brandvermogen toenemen ten opzichte van het brandvermogen bij een brandstofbeheerste brand. Ook nu kan feitelijk van een ventilatiebeheerste brand worden gesproken, met als verschil dat er geen beperking in de luchttoevoer aanwezig is maar juist een overmaat.

Van dit verschijnsel wordt dankbaar gebruik gemaakt bij het aanmaken van de open haard of barbecue. In de brandbeveiliging van gebouwen is dit verschijnsel minder aan de orde. Bij bouwwerken kan dit nog wel een aandachtspunt zijn. Wanneer in een tunnel bij voorbeeld stuwkrachtventilatie wordt toegepast voor de rookverdrijving in geval van een brandcalamiteit is het de vraag of de gedwongen convectie die door de stuwkrachtventilatie wordt geïntroduceerd niet een zodanige overmaat in de luchttoevoer veroorzaakt, dat met een groter brandvermogen moet worden gerekend dan op basis van een brandstofbeheerste brand zou worden verwacht.



figuur 5. stuwkrachtventilatoren in een tunnel

Dit kan worden gecontroleerd door de luchttoevoer- en rookafvoervolumestromen bij vrije convectie te vergelijken met de volumestromen bij gedwongen convectie, bijvoorbeeld onder toepassing van meerzone luchtstroommodellen.

## 3 Brandvermogen

Uit het voorgaande blijkt dat het brandvermogen wordt bepaald door de beschikbaarheid van brandstof enerzijds en de mate van zuurstoftoevoer anderzijds. De temperatuurontwikkeling in de brandruimte kan daardoor sterk afwijken van de temperatuurontwikkeling volgens de standaard brandkromme.

De temperatuurontwikkeling in de brandruimte hangt af van de warmtetransportmechanismen die vanuit de brandhaard optreden. In theorie gaat het om de volgende warmtetransportmechanismen:

- warmtetransport door geleiding;
- warmtetransport door stroming (convectie);
- warmtetransport door straling.

In de praktijk speelt het warmtetransport door geleiding ter plaatse van de brandhaard een ondergeschikte rol. De convectieve warmteafgifte en de warmteafgifte door straling vanaf de brandhaard zijn bepalend.

#### 4 Opgaven

##### 4.1 Een open box van 1 x 1 x 1 m<sup>3</sup> gevuld met 300 kg afvalhout vliegt in brand.

- a. Is de brand in aanvang ventilatiebeheerst of brandstofbeheerst?
- b. Welke brandscenarioklasse ligt het meest voor de hand?
- c. Hoe lang duurt het voordat de stationaire eindsituatie is bereikt?
- d. Wat is het maximale brandvermogen en wat is de brandduur?

##### 4.2 In het verleden werd als standaard branduitbreidingsnelheid vaak 1 cm/s gehanteerd.

- a. Met welke brandscenarioklasse komt dit het beste overeen?