

Handboeken staalconstructies

# Brandveiligheid

Brandveiligheid en berekening van de brandwerendheid van staalconstructies voor gebouwen volgens Eurocode 3

Louis-Guy Cajot, Rik Debruyckere, Jean-Marc Franssen



# Brandveiligheid

## **Brandveiligheid en berekening van de brandwerendheid van staalconstructies voor gebouwen volgens Eurocode 3**

Louis-Guy Cajot, Rik Debruyckere, Jean-Marc Franssen

# Colofon

Teksten: Louis-Guy Cajot, Rik Debruyckere, Jean-Marc Franssen

Gebaseerd op: Brand - Brandveiligheid en berekening van de brandwerendheid van staalconstructies voor gebouwen volgens Eurocode 3 - door A.F. Hamerlinck - een uitgave van Bouwen met Staal ([www.bouwenmetstaal.nl](http://www.bouwenmetstaal.nl)) - 2010.

## Illustraties:

Alle niet-genoemde foto's en de basis van de meeste tekeningen en tabellen komen uit het archief van Bouwen met Staal ([www.bouwenmetstaal.nl](http://www.bouwenmetstaal.nl)).

Coverbeeld : Brandweerkazerne Puurs - architect : Compagnie-O architecten, Gent - foto: Infosteel

Aalterpaint 1-15

ABT 1-13, p.4-1

a/d amstel architecten p.3-1

Bernard Boccara 1-29

Bouwen met Staal 1-17, 1-19, 1-20, 2-32

Y. de Groot p.0-6, p.2-1

Marc Detiffe 1-30

Fas Keuzenkamp 2-13

Infosteel 1-5, 1-31, 1-32, 2-16

Gilles Martin 1-9

S. Pedneault 1-1

Tom de Rooij Vakfotografie 1-11-links

Tyco Fire Suppression & Building Products 1-4

Uitgave: Infosteel - 2012



Arianelaan 5  
B-1200 Brussel  
t. +32-2-509 15 01  
f. +32-2-511 12 81  
e. [info@infosteel.be](mailto:info@infosteel.be)  
[www.infosteel.be](http://www.infosteel.be)

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand en/of openbaar gemaakt – in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enige andere manier – zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

## Verwittinging

Aan de totstandkoming van deze publicatie is de uiterste zorg besteed. Desondanks zijn eventuele (druk)fouten en onvolkomenheden niet uit te sluiten. De uitgever sluit – mede ten behoeve van al degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt – elke aansprakelijkheid uit voor directe en indirecte schade, ontstaan door of verband houdende met de toepassing van deze publicatie.

# Voorwoord

Dit boek behandelt in de eerste drie hoofdstukken het onderwerp brandveiligheid en de berekening van de brandwerendheid van staalconstructies voor gebouwen volgens Eurocode 3.

Hoofdstuk 1 omschrijft de doelstellingen van brandveiligheid aan de hand van het gedrag van een brand en bespreekt de maatregelen die een ontwerper kan nemen om te voldoen aan de eisen voor brandveiligheid en de wettelijk eisen.

Hoofdstuk 2 gaat over het berekenen van de brandwerendheid van een staalconstructie met betrekking tot bezwijken. Een eenvoudig berekeningsmodel volgens Eurocode 3 wordt besproken en is geschikt voor trekstaven, niet-kipgevoelige liggers, kolommen én kipgevoelige liggers. Voor de berekening van geïntegreerde liggers, zowel onbekleed als bekleed wordt een geavanceerd rekenmodel gebruikt en wordt tevens een alternatieve vereenvoudigde methode voorgesteld.

Hoofdstuk 3 behandelt het onderwerp fire safety engineering; een relatief nieuw vakgebied, waarbij fysische modellen worden gebruikt om het gedrag van een brand – en het effect hiervan op bouwwerken en de gebruikers – te beschrijven. Er worden vier situaties besproken die met fire safety engineering in de praktijk al zijn te berekenen: lokale branden, compartimentsbranden (zonder én met flashover), staalconstructies die zich buiten het gebouw bevinden in de buitenlucht én het systeemgedrag van een staalconstructie. Dit laatste wordt geïllustreerd aan de hand van een staalplaat-betonvloer waarbij het membraanefect in acht wordt genomen.

Hoofdstuk 4 tenslotte bevat dertien ontwerptabellen voor het eenvoudig bepalen van een aantal rekenparameters zoals de afname van de effectieve vloeigrens en de elasticiteitsmodulus, de reductiefactor op de belastingen bij brand, de profielfactoren voor I-profielen, de staaltemperatuur na een bepaalde tijd (in functie van de profielfactor) en de kritieke staaltemperatuur voor kolommen (in functie van de benuttinggraad en slankheid).

Als basis voor deze publicatie werd het boek “Brand” gebruikt, uitgegeven door *Bouwen met Staal* in Nederland. De auteur hiervan – dr.ir. Ralph Hamerlinck – heeft een grote ervaring als adviseur, docent en auteur op het gebied van brandveiligheid. Ook is hij nauw betrokken bij de ontwikkelingen in regelgeving en normen over brandveiligheid in zijn land. Infosteel verwierf de rechten om op basis van dit boek een aangepaste versie te maken voor de Belgische en Luxemburgse markt die ondermeer rekening houdt met de Belgische en Luxemburgse normen en wetgeving. Het werk is beschikbaar in het Nederlands en Frans en werd opgesteld door 3 Belgische experts in het domein: J.M. Franssen (Universiteit Luik), L.G. Cajot (ArcelorMittal) en R. Debruyckere (SECO en Universiteit Gent).

Philippe Coigné,  
General Manager, Infosteel

# Inhoud

<b>1</b>	<b>Brandveiligheid</b>	<b>1-1</b>
<b>1.1</b>	<b>Wat is brandveiligheid?</b>	<b>1-2</b>
1.1.1	Doelstellingen van brandveiligheid	1-2
	<i>Veiligheid van gebruikers</i>	1-4
	<i>Rookbeheersing en vluchtroutes</i>	1-4
	<i>Materiële schade</i>	1-4
1.1.2	Maatregelen voor brandveiligheid	1-5
	<i>Materiaalkeuze</i>	1-5
	<i>Beheer en onderhoud</i>	1-5
	<i>Vluchtwegen</i>	1-5
	<i>Voorlichting en training</i>	1-5
	<i>Sprinkler</i>	1-6
	<i>Brandmelding</i>	1-6
	<i>Compartimentering</i>	1-6
	<i>Ventilatie</i>	1-6
	<i>Passieve bescherming</i>	1-6
	<i>Constructief ontwerp</i>	1-6
	<i>Het natuurlijke brandconcept</i>	1-7
<b>1.2</b>	<b>Ontwikkeling van een brand</b>	<b>1-7</b>
<b>1.3</b>	<b>Ontwerpen van brandveilige gebouwen</b>	<b>1-9</b>
1.3.1	Bouwkundig concept	1-9
	<i>Dimensioneren op brand</i>	1-10
	<i>Constructie buiten het gebouw plaatsen</i>	1-11
	<i>Vullen met water</i>	1-11
	<i>Vullen of omhullen met beton</i>	1-12
	<i>Brandwerende coating</i>	1-13
	<i>Bouwkundig integreren</i>	1-14
	<i>Warmte-isolerend bekleden</i>	1-15
1.3.2	Bewakingsconcept	1-15
	<i>Branddetectie</i>	1-15
	<i>Brandbestrijding</i>	1-16
1.3.3	Blusconcept	1-16
	<i>Sprinklers</i>	1-17

<b>1.4</b>	<b>Veiligheidseisen bij brand</b>	<b>1-18</b>
1.4.1	Het reglementair kader	1-18
1.4.1.1	Inleiding	1-18
1.4.1.2	Europees niveau	1-19
1.4.1.3	In België	1-19
	<i>De federale reglementering</i>	1-19
	<i>De Basisnormen</i>	1-20
	<i>ARAB (Artikel 52)</i>	1-21
	<i>Andere Koninklijke Besluiten</i>	1-22
	<i>De gewestelijke reglementering</i>	1-22
	<i>De gemeentelijke reglementering</i>	1-22
	<i>Voorschriften met betrekking tot brandveiligheid van "Inspection du Travail et des Mines" (ITM) en van de "Service Incendie et ambulance" van de stad Luxemburg</i>	1-22
	<i>Gemeentelijke reglementering</i>	1-24
1.4.2	De veiligheid van de constructie in geval van brand	1-24
1.4.2.1	Inleiding	1-24
1.4.2.2	Reactie bij brand	1-24
1.4.2.3	Brandwerendheid	1-26
1.4.2.4	Eisen met betrekking tot draagvermogen	1-28
1.4.2.4.1	Algemeenheden	1-28
1.4.2.4.2	Industriële gebouwen	1-29
	<i>Structurele elementen van type I</i>	1-29
	<i>Structurele elementen van type II</i>	1-29
1.4.2.4.3	Gebouwen en delen van constructies waarvoor er geen eisen zijn	1-31
	<i>Open parkings</i>	1-31
	<i>Industriële hallen</i>	1-31
1.4.3	Afwijkingen	1-32
1.4.3.1	Buitengelegen constructies	1-32
1.4.3.2	Grote open ruimtes	1-33
<b>1.5</b>	<b>Belastingen in geval van brand</b>	<b>1-33</b>
1.5.1	Componentbenadering	1-34
1.5.2	Thermische belasting	1-34
1.5.3	Mechanische belasting	1-35
<b>1.6</b>	<b>Gedrag van staalprofielen bij brand</b>	<b>1-36</b>
1.6.1	Benuttinggraad	1-37
1.6.2	Profielfactor	1-38
1.6.3	Brandwerendheid	1-39
<b>1.7</b>	<b>Referenties</b>	<b>1-40</b>

<b>2.</b>	<b>Berekenen van de brandwerendheid</b>	<b>2-1</b>
<b>2.1</b>	<b>Begrippen en randvoorwaarden</b>	<b>2-2</b>
2.1.1	Standaardbrandkromme	2-3
2.1.2	Effectieve vloeigrens van staal bij brand	2-3
2.1.3	Benuttinggraad	2-3
2.1.4	Profielfactor	2-5
2.1.5	Kritieke temperatuur van staal	2-7
2.1.6	Doorsnedeclassificatie bij brand	2-7
2.1.7	Gedrag van bekledingsmaterialen	2-12
	<i>Handberekening</i>	2-12
<b>2.2</b>	<b>Berekeningsmodellen</b>	<b>2-15</b>
	<i>Verbindingen</i>	2-15
<b>2.3</b>	<b>Trekstaven</b>	<b>2-16</b>
<b>2.4</b>	<b>Niet-kipgevoelige liggers</b>	<b>2-17</b>
	Voorbeeld 2.1	2-19
	Voorbeeld 2.2	2-21
<b>2.5</b>	<b>Kolommen</b>	<b>2-23</b>
	Voorbeeld 2.3	2-26
<b>2.6</b>	<b>Kipgevoelige liggers</b>	<b>2-28</b>
	Voorbeeld 2.4	2-29
<b>2.7</b>	<b>Geïntegreerde liggers, onbeschermd</b>	<b>2-30</b>
2.7.1	Inleiding	2-30
2.7.2	Temperatuursveld	2-31
2.7.2.1	Inleiding	2-31
2.7.2.2	Berekening van de temperaturen	2-32
2.7.2.3	Temperatuur in de onderflens	2-32
2.7.2.4	Temperatuur in het lijf	2-34
2.7.2.5	Temperatuur in de bovenflens	2-35
2.7.2.6	Temperatuur in het betonstaal	2-35
2.7.3	Berekening van de weerstand	2-36
2.7.3.1	Buiging in dwarsrichting van de onderflens	2-36
2.7.3.2	Verticale afschuiving	2-37
2.7.3.3	Buiging in langsrichting van het geïntegreerd profiel	2-37
2.7.3.4	Combinatie van afschuiving en buiging in langsrichting van het geïntegreerd profiel	2-38
2.7.3.5	Berekening van de las	2-38
	Voorbeeld 2.5	2-38
	<i>Berekening van de hoogte <math>h_f</math></i>	2-39
	<i>Temperatuur in de bovenflens</i>	2-39

<i>Vertikale dwarskracht</i>	2-39
<i>Buiging in langsrichting</i>	2-40

<b>2.8</b>	<b>Geïntegreerde liggers, beschermd</b>	<b>2-41</b>
	Voorbeeld 2.6	2-42
<b>2.9</b>	<b>Referenties</b>	<b>2-44</b>

### **3. Fire safety engineering** **3-1**

<b>3.1</b>	<b>Wat is Fire Safety Engineering?</b>	<b>3-2</b>
<b>3.2</b>	<b>Natuurlijke branden; lokale branden</b>	<b>3-5</b>
<b>3.3</b>	<b>Natuurlijke branden, compartimentsbranden</b>	<b>3-8</b>
3.3.1	Achtergronden	3-8
3.3.2	Methode met zonemodellen	3-8
3.3.3	Compartimentsbranden volgens de Belgische en Luxemburgse nationale bijlagen	3-10
3.3.4	Computerprogramma OZone	3-12
<b>3.4</b>	<b>Natuurlijke branden, staalconstructie in de buitenlucht</b>	<b>3-13</b>
<b>3.5</b>	<b>Systeemgedrag van staalconstructies</b>	<b>3-14</b>
<b>3.6</b>	<b>Referenties</b>	<b>3-16</b>

### **4. Ontwerptabellen** **4-1**

<b>Tabel 4-1</b>	<b>24</b>
------------------	-----------

Reductiefactor  $k_{y,\theta}$  voor de afname van de effectieve vloeigrens volgens formule (4.22) van EN 1993-4-2 als functie van de staaltemperatuur  $\theta_a$

<b>Tabel 4-2</b>	<b>4-5</b>
------------------	------------

Reductiefactor  $k_{y,\theta}$  voor de afname van de effectieve vloeigrens en  $k_{E,\theta}$  voor de afname van de elasticiteitsmodulus volgens tabel 3.1 van EN 1993-4-2 als functie van de staaltemperatuur  $\theta_a$

<b>Tabel 4-3</b>	<b>4-6</b>
------------------	------------

Reductiefactor op de belastingen bij brand  $\eta_f$  als functie van de verhouding tussen de blijvende belasting  $G_k$  en de veranderlijke belasting  $Q_k$  voor verschillende gebruiksfuncties bij  $\gamma_G = 1,35$  en  $\gamma_Q = 1,5$

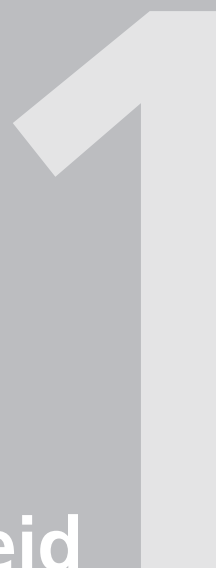
<b>Tabel 4-4</b>	<b>4-9</b>
------------------	------------

Staaltemperatuur  $\theta_a$  (°C) van een onbeschermd I-vormig profiel als functie van de gecorrigeerde profiel-factor  $k_{sh} \cdot A_m / V$  (m<sup>-1</sup>). Voor  $k_{sh} = 1$  geldt de tabel ook voor onbeschermden niet I-vormige profielen, zoals buizen, platen en hoekprofielen.



<b>Tabel 4-5</b>	<b>24</b>
Profielfactor $A/V$ ( $m^{-1}$ ) voor IPE-, HEA-, HEB- en HEM-profielen. Voor de onbeklede profielen is in de profielfactor de correctiefactor voor het schaduweffect $k_{sh}$ verwerkt.	
<b>Tabel 4-6</b>	<b>4-15</b>
Staaltemperatuur $\theta_a$ ( $^{\circ}C$ ) na 30 minuten standaardbrand van onbeschermd IPE- en HE-profielen (combinatie van tabel 4.5 met tabel 4.4 voor 30 minuten)	
<b>Tabel 4-7 - S235</b>	<b>4-16</b>
Kritieke staaltemperatuur $\theta_{a,cr}$ ( $^{\circ}C$ ) voor centrisc belaste drukstaven in de staalsoort S235	
<b>Tabel 4-8 - S275</b>	<b>4-22</b>
Kritieke staaltemperatuur $\theta_{a,cr}$ ( $^{\circ}C$ ) voor centrisc belaste drukstaven in de staalsoort S275	
<b>Tabel 9 - S355</b>	<b>4-28</b>
Kritieke staaltemperatuur $\theta_{a,cr}$ ( $^{\circ}C$ ) voor centrisc belaste drukstaven in de staalsoort S355	
<b>Tabel 4-10 - S420</b>	<b>4-34</b>
Kritieke staaltemperatuur $\theta_{a,cr}$ ( $^{\circ}C$ ) voor centrisc belaste drukstaven in de staalsoort S420	
<b>Tabel 4-11 - S460</b>	<b>4-40</b>
Kritieke staaltemperatuur $\theta_{a,cr}$ ( $^{\circ}C$ ) voor centrisc belaste drukstaven in de staalsoort S460	
<b>Tabel 4-12</b>	<b>4-46</b>
Doorsnedeklasse van IPE-, HEA-, HEB- et HEM-profielen bij buiging onder druk onder normale temperatuur en bij brand in de staalsoorten S235, S355, S420 et S460	
<b>Tabel 4-13</b>	<b>4-48</b>
Doorsnedeklasse van courante buisprofielen bij druk onder normale temperatuur en bij brand in de staalsoorten S235, S275, S355, afhankelijk van het type buis	

# Brandveiligheid



# 1

# Brandveiligheid

De brandveiligheid van bouwwerken is een onderwerp dat veel stabiliteitsingenieurs niet tot hun werkterrein rekenen. En dat is vreemd, omdat brand behoort tot één van de belastingen – naast bijvoorbeeld het eigen gewicht, de veranderlijke belastingen en wind – waartegen een bouwconstructie bestand moet zijn. Door het belastinggeval al vroeg in het (functioneel en constructief) ontwerp mee te nemen, zijn oplossingen mogelijk om bouwwerken voldoende brandveilig te maken tegen minimale kosten.

Dit hoofdstuk omschrijft allereerst de doelstellingen van brandveiligheid en de vele maatregelen die een ontwerper kan nemen om aan de eisen voor brandveiligheid te voldoen. Daarna komt aan de orde hoe een brand zich kan ontwikkelen – afhankelijk van het gekozen brandveiligheidsconcept – en welke veiligheidseisen de reglementen stellen. Ook worden de begrippen draagconstructie en gelijkwaardigheid bij brand toegelicht. Als laatste wordt het buitengewone belastinggeval brand kort besproken evenals het gedrag van staalprofielen bij verhoogde temperaturen.

## 1.1 Wat is brandveiligheid?

Brand is een scheikundig verschijnsel, waarbij meestal sprake is van een snelle chemische reactie (oxidatie) van een brandbaar materiaal (bijvoorbeeld papier of olie) met zuurstof. Om deze reactie te laten ontstaan is een voldoende hoge ontbrandings-temperatuur nodig, bijvoorbeeld veroorzaakt door een weggegooide sigaret, door kortsluiting in een elektrisch apparaat of door brandstichting. De grootste bedreiging van een brand voor mens en dier zijn niet zozeer de vlammen zelf, maar vooral de rook en de hete rookgassen.

Brandveiligheid heeft te maken met maatregelen om het uitbreken van brand zo veel mogelijk te voorkomen en om de risico's en de gevolgen van brand te beperken. Deze paragraaf bespreekt de doelstellingen van brandveiligheid in het algemeen en geeft een overzicht van de mogelijkheden die de ontwerper heeft om een gebouw brandveiligheid te maken.

### 1.1.1 Doelstellingen van brandveiligheid

Brand vormt voor de mens een levensbedreigende situatie (figuur 1-1). Om die reden moet de kans op het ontstaan van brand en de mogelijke gevolgen hiervan – slachtoffers en schade – worden beperkt door tijdens het ontwerp, de bouw en het gebruik van een bouwwerk aandacht te besteden aan brandveiligheid. De beveiliging van bouwwerken tegen brand heeft twee doelstellingen:

- het voorkomen van (dodelijke) ongevallen;
- het beperken van directe en indirecte materiële schade.



Figuur 1-1 : Brand vormt een levensbedreigende situatie voor de mens.

In de meeste landen regelt de overheid – via de bouwregelgeving – de veiligheid van mens. De voorschriften zijn er op gericht het ontstaan van brand en het aantal slachtoffers te beperken en te voorkomen dat een eenmaal ontstane brand zich uitbreidt of overslaat naar omringende bebouwing. De verzekeringsmaatschappijen richten zich meer op het beperken van de materiële schade, zoals het verlies van inboedel en het onderbreken van het productieproces.

Brandveiligheid is een belangrijk aspect bij het ontwerpen van gebouwen en heeft zowel invloed op de architectuur als op de noodzakelijke bouwkundige en installatietechnische voorzieningen. De verschillende ontwerpstrategieën om een gebouw brandveilig te maken, bestaan doorgaans uit een “pakket” aan maatregelen. Daarbij spelen ook het gebruik van het gebouw en organisatorische aspecten – zoals het ontruimen van niet-zelfredzame personen – een belangrijke rol.

De keuze van de te nemen maatregelen – het brandveiligheidsconcept – hangt vooral af van de ruimtelijke indeling van het gebouw en van het gebruik. In openbare gebouwen bijvoorbeeld – zoals winkels en bibliotheken – wordt de vereiste brandveiligheid bereikt door de combinatie van één of meerdere systemen zoals rookdetectiesystemen, rookafvoersystemen en sprinklers. Het is een misverstand te denken dat de brandwerendheid van een staalconstructie uitsluitend is te bereiken met beschermende maatregelen, zoals het brandwerend bekleden. Er zijn tegenwoordig geavanceerde rekenmethoden beschikbaar om soms zelfs onbeschermd staal toe te passen in een brandveilig gebouw.

In het algemeen richt brandveiligheid zich op de volgende drie aandachtsgebieden:

- veiligheid van gebruikers;
- rookbeheersing en vluchtroutes;
- materiële schade.

## *Veiligheid van gebruikers*

De maatregelen die nodig zijn om mensenlevens te redden bij brand hangen niet af van het gebruikte constructiemateriaal. Deze maatregelen zijn namelijk bedoeld om de ontwikkeling en de uitbreiding van een brand te beperken en om vluchtroutes in stand te houden.

Bij het beoordelen van de brandveiligheid zijn het aantal personen in het gebouw, hun mobiliteit en de vereiste ontruimingstijd van groot belang. De gekozen maatregelen hangen af van het gebruik: gaat het om gebouwen waar zich vaak veel mensen ophouden – zoals kantoren, hotels, winkels, theaters en ziekenhuizen – of gaat het om gebouwen waar heel weinig personen komen, zoals pakhuizen. In een ziekenhuis bijvoorbeeld moeten de bedden horizontaal naar een veilig brandcompartiment kunnen worden gereden en daarna eventueel met beveiligde liften naar beneden.

## *Rookbeheersing en vluchtroutes*

De belangrijkste doodsoorzaak bij brand is rook. Rook bevat het giftige koolmonoxide en vormt tevens een ondoorzichtig "gordijn" waardoor vluchten wordt belemmerd (figuur 1-2). Daarom wordt de brandveiligheid uitgedrukt in de tijd (in minuten) die gebruikers nodig hebben om het gebouw te kunnen ontvluchten en die de brandweer nodig heeft om het gebouw te doorzoeken. Voldoende ontsnappingsroutes zijn essentieel om een gebouw veilig te kunnen ontvluchten. Deze routes moeten vrij zijn

van obstakels, duidelijk zijn aangegeven en zichtbaar blijven bij brand. Bij voorkeur zijn dit de routes die de gebruikers goed kennen, omdat ze deze bijvoorbeeld dagelijks gebruiken als hoofdtoegangsweg of als verkeersruimten.

## *Materiële schade*

Het verlies van de inhoud van een gebouw en de onderbreking van het productieproces zijn de grootste schadeposten bij brand. De meest doeltreffende strategie om brandschade te beperken is om maatregelen te nemen waarmee een grote brand wordt voorkomen. Daarom zijn actieve brandveiligheidsmaatregelen – zoals rookdetectoren en automatische sprinklers die de verspreiding van een brand en de gevolgen daarvan beperken – de meest doeltreffende maatregelen om eigendommen te beschermen. Een doeltreffende compartimentering en/of actieve maatregelen om de verspreiding van een brand te voorkomen zijn cruciaal.



Figuur 1-2 : De belangrijkste doodsoorzaak bij brand is rook.

## 1.1.2 Maatregelen voor brandveiligheid

Figuur 1-3 geeft een overzicht van het doel van brandveiligheid en van de belangrijkste maatregelen die de ontwerper heeft om enerzijds de kans op persoonlijke ongelukken te verkleinen en anderzijds de materiële schade te beperken. De verschillende maatregelen worden kort toegelicht.

### Materiaalkeuze

De draagconstructie, de overige bouwdelen en het interieur moeten zoveel mogelijk bestaan uit niet-brandbare materialen. Hierdoor wordt de kans op het ontstaan van brand beperkt en de verspreiding van brand tegengegaan. Ook moeten de toegepaste materialen een minimale rookproductie hebben om bij het vluchten een voldoende zichtlengte te hebben en er geen gevaar ontstaat voor het inademen van giftige rook.

### Beheer en onderhoud

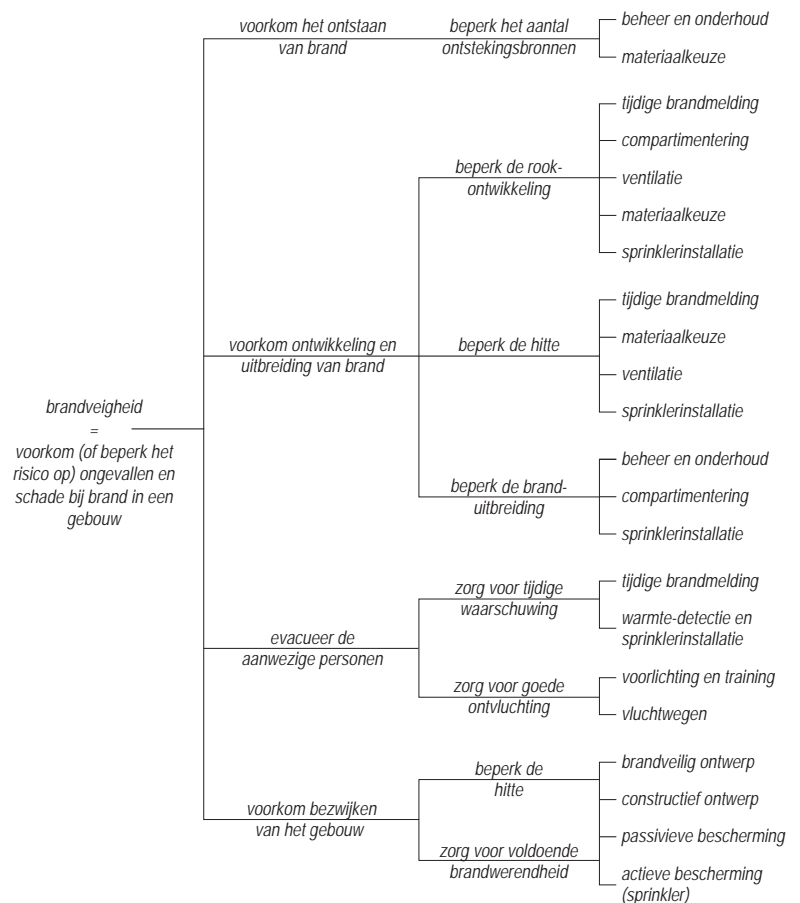
Een belangrijke rol is weggelegd voor gebouwbeheerders bij het voorkomen van brand. Zo moeten voorzieningen worden getroffen voor het veilig opslaan van brandgevaarlijke stoffen. Ook moeten bijvoorbeeld brandblusmiddelen en zelfsluitende deuren goed worden onderhouden. Het belangrijkste is echter dat het personeel voldoende op de hoogte is van de brandveiligheidsproblematiek en in geval van brand adequaat kan optreden (ontruimen volgens plan en hulp aan minder zelfredzame personen).

### Vluchtwegen

Het inrichten van vluchtwegen – waardoor de aanwezige personen het gebouw snel kunnen verlaten – is de meest doeltreffende manier om ongevallen door brand te voorkomen. Veilige vluchtroutes met de bijbehorende voorzieningen worden dan ook in alle nationale bouwvoorschriften geëist.

### Voorlichting en training

Uit onderzoek naar het gedrag van mensen bij brand blijkt dat er vaak traag wordt gereageerd op de eerste signalen van gevaar. Bovendien is vaak onduidelijk wie welke acties moet ondernemen. Niet alleen voorlichting aan en training van personeel in openbare gebouwen is belangrijk, maar ook een duidelijke bewegwijzering van de vluchtwegen en maatregelen om de verspreiding van rook te beperken. In een vertrouwde, en dus bekende, omgeving vluchten mensen in geval van rook bij een zichtlengte van minder dan 3 tot 5 m. In winkels en openbare gebouwen, waar men in het algemeen niet goed bekend is met de omgeving, ligt de kritieke grens van de zichtlengte veel hoger, namelijk op 15 tot 20 m.



Figuur 1-3 : Overzicht van het doel van brandveiligheid en de te nemen maatregelen



Figuur 1-4 : Sprinklers blussen of beperken de brand in omvang en minimaliseren de materiële schade. Bij gebruik van sprinklers kunnen de eisen voor de brandwerendheid worden gereduceerd of zelfs vervallen.

### *Sprinkler*

Een sprinklerinstallatie (figuur 1-4) helpt in de eerste plaats om de brand te blussen en zo branduitbreiding te voorkomen. Daarnaast wordt de rookontwikkeling beperkt, waardoor de kans op persoonlijke ongelukken afneemt. Doordat de temperatuur relatief laag blijft, wordt de schade aan de inhoud van het gebouw en aan de constructie beperkt (zie ook paragraaf 1.3.3).

### *Brandmelding*

Brandmeldinstallaties – meestal op basis van warmte- en/of rookdetectie – zorgen ervoor dat de aanwezigen in een vroeg stadium van de brand worden gealarmeerd, waardoor de vluchttijd maximaal wordt. Hoewel de betrouwbaarheid van brandmeldsystemen groot is, komen in de praktijk oneigenlijke of valse meldingen regelmatig voor. Brandmeldinstallaties maken een snel ingrijpen door de brandweer mogelijk, waarmee de kans op vlamoverslag wordt verkleind en de schade wordt beperkt.

### *Compartmentering*

De verdeling van een gebouw in afzonderlijke ruimten via brand- en rookwerende wanden is een doeltreffend middel om de gevolgen van brand te beperken. Compartmentering speelt dan ook een belangrijke rol in alle nationale bouwvoorschriften.

### *Ventilatie*

Het is wenselijk rook en warmte zo snel mogelijk naar buiten af te voeren en niet in het gebouw te houden. Een inpannige verspreiding van rook en warmte kan niet alleen de aanwezige personen in ernstig gevaar brengen, maar ook de brandweer hinderen.

### *Passieve bescherming*

Passieve bescherming houdt in dat de draagconstructie wordt bekleed met een isolatiemateriaal of bouwkundig wordt “ingepakt” om bezwijken van de constructie bij brand te voorkomen (zie paragraaf 1.3.1). Deze vorm van passieve bescherming wordt meestal gebruikt bij stalen en houten draagconstructies, maar soms ook voor betonnen bouwdelen. Voor gebouwen met één niveau geldt dat een passieve bescherming de minst effectieve manier is om ongevallen te voorkomen en economische schade te beperken. Wanneer de temperatuur in het compartiment eenmaal zo hoog is opgelopen dat de constructie bezwijkt, dan zijn de dan nog aanwezige personen immers allang omgekomen. Bovendien heeft de inboedel in dit stadium van de brand al zeer grote schade opgelopen.

### *Constructief ontwerp*

Ook zonder een passieve bescherming kan met een staalconstructie een aanzienlijke brandwerendheid worden bereikt met onder meer de volgende maatregelen:

- bouwkundige integratie van draagconstructie (zie 1.3.1);
- juiste dimensionering van de constructie-onderdelen en de verbindingen;
- rekening houden met de interactie tussen de verschillende constructie-onderdelen (bijvoorbeeld het herverdelen van krachten naar naastgelegen koelere constructiedelen);

- een verstandige keuze van de positie van constructie-onderdelen ten opzichte van een mogelijke brand (bijvoorbeeld de staalconstructie buiten de gevel plaatsen in de buitenlucht).

### *Het natuurlijkebrandconcept*

Met moderne rekenmethoden is het temperatuurverloop van een natuurlijke brand voldoende nauwkeurig te bepalen, zie hoofdstuk 3 ("Fire Safety Engineering"). Hierdoor kan het gedrag van een staalconstructie bij brand op een meer realistische wijze worden beoordeeld dan met de traditionele, op de standaardbrand gebaseerde methoden. En daardoor kan de benodigde dikte van de bekleding nauwkeuriger worden bepaald. Ook kan met moderne rekenmethoden soms worden aangetoond dat de staalconstructie niet bekleed hoeft te worden om toch voldoende brandveilig te zijn (zie figuur 1-5).

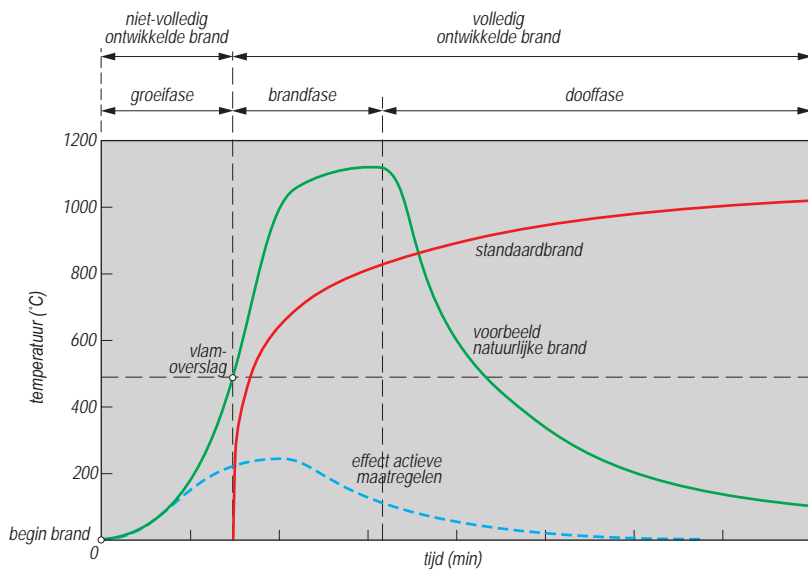


Figuur 1-5 : Met het natuurlijkebrandconcept is soms aan te tonen dat een staalconstructie onbeschermd kan blijven (Chambre de Commerce te Kirchberg, Luxemburg, LU).

## **1.2 Ontwikkeling van een brand**

Een brand kent drie fasen in de ontwikkeling, namelijk: de groeifase, de brandfase en de dooffase (figuur 1-6). De groeifase is van groot belang, omdat alleen in deze fase vluchten uit het compartiment mogelijk is. Bij een vroegtijdige melding is de brand nog effectief te bestrijden. Tijdens de groeifase van een zich ontwikkelende brand zijn de thermische effecten slechts plaatselijk merkbaar. Schade aan de constructie van het gebouw zelf is gering en er bestaat geen gevaar voor het bezwijken van de constructie. Brandbare materialen ontleden en er is rookontwikkeling, waardoor personen in het gebouw gevaar lopen.





Figuur 1-6 : Ontwikkeling van een natuurlijke brand met de groei-, brand- en dooffase

Het gevaarlijkste moment is het optreden van vlamoverslag ("flash-over"). Dit markeert de overgang naar de brandfase: van een niet-volledig ontwikkelde naar een volledig ontwikkelde brand. De temperatuur bij vlamoverslag hangt af van de mate van brandbaarheid van de materialen in het compartiment. Voor cellulosehoudende producten (zoals papier en hout) bedraagt deze temperatuur ongeveer 500 °C.

In een volledig ontwikkelde brand stijgt de temperatuur zeer snel tot 800 à 1000 °C. Daardoor kan – na verloop van tijd – de draagconstructie van het gebouw bezwijken. Bestrijding van de brand in het compartiment zelf is nu onmogelijk geworden. De brandweer kan dan nog slechts de omringende ruimten en gebouwen beschermen.

Het temperatuurverloop tijdens de brand- en dooffase (na vlamoverslag) hangt af van veel factoren, waarvan de hoeveelheid brandbaar materiaal en de ventilatiecondities de belangrijkste zijn. Per situatie verschillen deze factoren. Daardoor verschilt de ontwikkeling van de brandtemperatuur ook van geval tot geval. In figuur 1-6 is het mogelijke temperatuurverloop in een werkelijke situatie geschetst; dit heet een natuurlijke brand. Ook is de standaardbrandkromme getekend; dit is het (aangenomen) gestandaardiseerde verband tussen temperatuur en tijd. Hiermee is het gedrag van constructies zowel experimenteel (via brandproeven) als rekenkundig te beoordelen.

Traditioneel worden afzonderlijke constructie-onderdelen zoals liggers en kolommen beoordeeld op basis van de standaardbrandkromme, die al in de jaren twintig van de vorige eeuw is vastgelegd. De brandwerendheid is dan de tijd (uitgedrukt in minuten) dat een constructieonderdeel weerstand biedt aan deze standaardbrand. Daarbij wordt verondersteld dat de standaardbrand begint bij vlamoverslag en dat in de periode daarvoor (groeifase) alle gebruikers het gebouw kunnen ontluchten.

Moderne ontwerpmethoden op basis van een natuurlijke brand – zoals "Fire Safety Engineering" (zie hoofdstuk 3) – bieden echter de mogelijkheid van een meer realistische benadering. Daarbij wordt de constructie als geheel (of een gedeelte hiervan) beoordeeld bij brand. In werkelijkheid immers bepaalt het temperatuurverloop in de natuurlijke brand, veel beter dan bij de standaardbrand, in hoeverre de in minuten uitgedrukte brandwerendheid overeenkomt met de reële prestaties. Het aantal minuten weerstand tegen een standaardbrand is hooguit een middel tot classificatie, waaraan niet al teveel absolute waarde (in werkelijke minuten brandwerendheid) kan worden toegekend.

Tot slot wordt opgemerkt dat de (standaard) brandwerendheid van bouwdelen niet mag worden geïnterpreteerd als de maatstaf voor de tijd die beschikbaar is om te ontluchten of voor interventie van de brandweer. Het verloop van de werkelijke (natuurlijke) brand en het constructiegedrag kan namelijk behoorlijk afwijken van dat van een enkel constructiedeel in de standaardproef.

## 1.3 Ontwerpen van brandveilige gebouwen

De brandveiligheid van een gebouw hangt af van hoe een brand zich ontwikkelt en wat het effect is van de getroffen brandveiligheidsmaatregelen. Het materiaalgebruik, het gebouwtype en het gebruik van het gebouw bepalen bij brand de hoeveelheid en de aard van de brandbare materialen en daarmee ook de brand- en rookontwikkeling. De bouwkundige, installatie-technische en organisatorische maatregelen – afgestemd op de specifieke situatie en in combinatie met het beheer en onderhoud – bepalen in hoeverre het gebouw brandveilig is. Brandveiligheid vereist dan ook een integrale aanpak. Het samenhangend pakket aan maatregelen heet een brandveiligheidsconcept, dat in goed overleg tussen eigenaar, ontwerper en brandweer moet worden opgesteld. De volgende brandveiligheidsconcepten zijn beschikbaar:

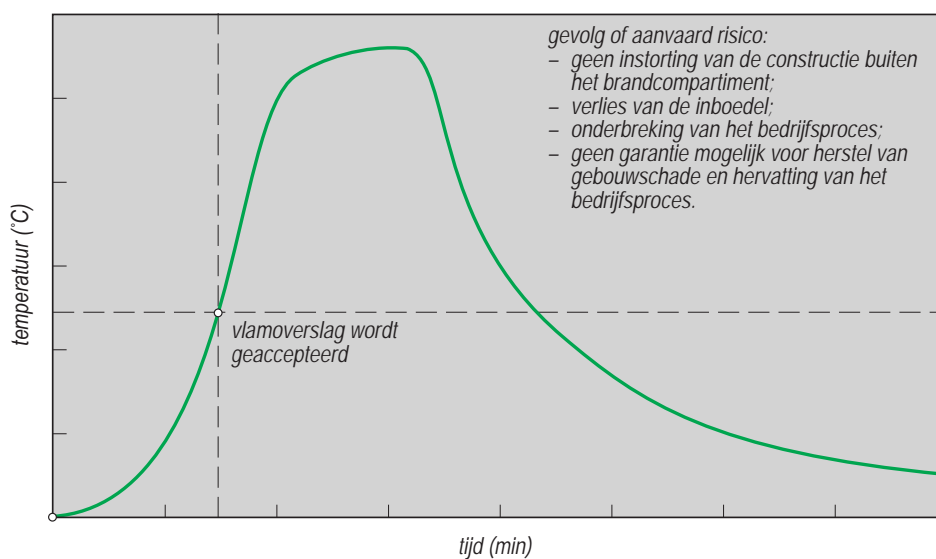
- bouwkundig concept;
- bewakingsconcept;
- blusconcept.

De reglementering is vaak gebaseerd op bouwkundige eisen, bijvoorbeeld aan de brandbaarheid en rookproductie van materialen, aan de compartimentering en aan de brandwerendheid van (scheidings)constructies. Aangaande het gebruik van brandveiligheidsystemen gebaseerd op installatietechnieken is het in België en het Groothertogdom Luxemburg toegestaan om beroep te doen op het gelijkwaardigheidsprincipe om de veiligheid aan te tonen. Met het bewakings- en blusconcept – die meer en meer worden toegepast – kan een hoog brandveiligheidsniveau worden bereikt, ook bij gebruik van onbekleed staal of van staal met een beperkte bouwkundige bescherming.

### 1.3.1 Bouwkundig concept

Het bouwkundige concept wordt het meest toegepast en is gebaseerd op brandcompartimentering in combinatie met het brandwerend bekleden van de draagconstructie. Het uitgangspunt daarbij is dat de brand beperkt blijft tot een brandcompartiment, waarbij vlamoverslag in dit brandcompartiment wordt geaccepteerd (figuur 1-7). Dit passieve concept is bijzonder geschikt voor gebouwen die goed of gemakkelijk zijn te compartimenteren.

Omdat wordt uitgegaan van brandcompartimenten – als het maximale uitbreidingsgebied van een brand – is het toelaatbaar dat vlamoverslag in het compartiment optreedt voordat met blussen wordt begonnen. De benodigde brandwerendheid van de gebouwdelen volgt uit de eis dat de brand zich niet buiten het brandcompartiment mag uitbreiden. Dit betekent dat de scheidende en (mogelijk) dragende functie van de betreffende bouwdelen gehandhaafd moet blijven



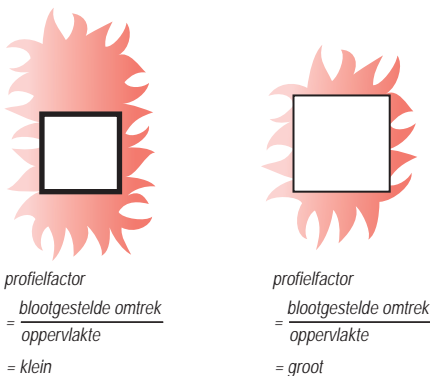
Figuur 1-7 : Brandveiligheidsconcept op basis van bouwkundige voorzieningen. Aangenomen wordt dat vlamoverslag optreedt, wat leidt tot een zeer aanzienlijke ontwikkeling van hitte en rook.

gedurende de te verwachten brandduur. Bij gebruik van brandbare bouwmaterialen moet er voor worden gezorgd dat het vuur zich niet via de draagconstructie kan uitbreiden. Bij scheidingswanden moet de uitbreiding van brand bij de aansluitingen worden voorkomen door een juiste detaillering. Bij een zorgvuldig ontworpen gevel treedt geen brandoverslag op naar bovengelegen verdiepingen.

Soms is het effectiever te kiezen voor actieve brandveiligheidsconcepten – gericht op het voorkomen van vlamoverslag – door het bewakings- en het blusconcept. De brandwerendheidseisen en -voorzieningen kunnen dan mogelijk worden gereduceerd, afhankelijk van de kans op het ontstaan van brand en het aanvaardbare risico.

De volgende oplossingen zijn in het bouwkundige concept beschikbaar:

- staalconstructie zichtbaar:
  - dimensioneren op brand (onbeschermd laten);
  - constructie buiten het gebouw plaatsen;
  - vullen met water;
  - vullen met beton;
  - aanbrengen brandwerende coating.
- staalconstructie niet zichtbaar:
  - bouwkundig integreren (zie figuur 1-16);
  - warmte-isolerend bekleden.



Figuur 1-8 : Dikke profielen warmen minder snel op dan dunne profielen met eenzelfde oppervlakte.

### Dimensioneren op brand

Bij constructies die niet voldoen aan een brandwerendheidseis van 30 minuten is het vaak mogelijk deze eis toch te halen door de constructie (iets) sterker te maken dan op basis van alleen de sterkte-eisen noodzakelijk is. Dit dimensioneren op brand kan op verschillende manieren gebeuren. Voorbeelden hiervan zijn:

- toepassen van iets dikkere profielen, waardoor de constructie wat massiever wordt en de opwarming ook iets langer duurt. Men kan bijvoorbeeld, vertrekkend van een vierkante koker 200 x 5, overgaan naar een koker 200 x 6. De berekeningen tonen evenwel aan dat, om een noemenswaardig effect te hebben op de temperaturen na een standaardbrand van 30 minuten, de profielfactor (zie 2.1.4) kleiner moet zijn dan 100 m<sup>-1</sup>. In het voorbeeld hierboven, bijvoorbeeld, zal de verhoging van de oppervlakte met 20% een belangrijker effect hebben dan de verlaging van de profielfactor van 200 tot 167 m<sup>-1</sup>. In het geval van figuur 1-8 daarentegen zal het voordeel bekomen door de reductie van de profielfactor en dus van de temperatuur verbonden aan het gebruik van een dikker profiel maar met dezelfde oppervlakte volledig verloren gaan door de vermindering van het traagheidsmoment (behalve als het gaat over een getrokken element). Men zal bijgevolg deze techniek enkel gebruiken wanneer de toegestane afmetingen beperkt zijn omwille van architecturale redenen, of het nu gaat over de breedte van kolommen of de hoogte van liggers;
- toepassen van profielen met (iets) belangrijkere afmetingen. In het voorbeeld hierboven zou men bijvoorbeeld kunnen overgaan naar een koker 240 x 5. De verhoging van het traagheidsmoment met 75% die zich toevoegt aan de verhoging van de oppervlakte met 20% brengt een voordeel met zich mee dat heel wat groter is dan bij een verhoging van de dikte;
- toepassen van staal met een hogere treksterkte zodat het relatieve spanningsniveau kleiner is en dat het materiaal een hogere temperatuur kan ondergaan. Overgaan bijvoorbeeld van een vloeigrens van 235 MPa naar 355 MPa reduceert het relatieve spanningsniveau met een derde;