

Kom  
verder



Kenniscentrum Leefomgeving



# Brandveiligheid van gebouwen

Integrale brandveiligheid voor het  
realiseren van veiligheidsdoelen

Copyright© 2013 by Saxion University of Applied Sciences.

All rights reserved. No part of this article may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording, or by any information storage and retrieval system, without permission in writing from the authors.

[saxion.nl/leefomgeving](http://saxion.nl/leefomgeving)

Auteurs:

*ing. D. den Boer*

*ing. R. Burcksen RSE*

*ir. R.J.M. Hartgerink*

*ir. R.A.P. van Herpen FIFireE*

*ir. E. Janse*

*ir. B. Kersten*

*dr. M. Kobes*

*ing. M.R. Leurink*

*drs. N. Oberijé*

Redactie:

*ir. D.J. de Boer*

*ir. R.A.P. van Herpen FIFireE*

*M. Kepel*

Lectoraat Brandveiligheid in de Bouw  
Saxion Kenniscentrum Leefomgeving



# Inhoud

Inhoud.....	4
1 Introductie Basis brandveiligheid van gebouwen.....	7
1.1 Opzet lesstof.....	7
1.2 Verbindingen met andere vakken.....	8
2. Brandveiligheid: effectbeheersing of risicobeheersing.....	11
2.1 Introductie.....	11
2.2 Van regels naar concepten.....	14
2.3 Van effectbeheersing naar risicobeheersing.....	17
2.4 Brandfysica.....	21
2.5 Natuurlijk brandconcept.....	23
2.6 Toepassing in de praktijk.....	27
2.7 Bronnen.....	28
3. Fysiologische aspecten van brand en rook.....	30
3.1 Brand en rook.....	30
3.2 Fysiologische aspecten bij thermische belasting.....	31
3.3 Fysiologische aspecten bij rookverontreiniging.....	35
3.4 Toepassing in de praktijk.....	38
3.5 Bronnen.....	39
4. Psychonomie: Analysemodel vluchtveiligheid.....	40
4.1 Noodzaak voor een psychonomische benadering.....	40
4.2 Psychonomie en zelfredzaamheid bij brand.....	42
4.3 Kritische factoren voor vluchtveiligheid.....	44
4.4 Operationalisatie van de kritische factoren voor vluchtveiligheid.....	53
4.5 Toepassing in de praktijk van het analysemodel.....	58
4.6 Bronnen.....	61
5. Brandveiligheid in publiekrechtelijke regelgeving.....	65
5.1 Inleiding.....	65
5.2 Opbouw wet- en regelgeving.....	66

5.3 Overige wetten brandveiligheid .....	74
5.4 Toepassing in de praktijk .....	75
5.5 Bronnen .....	76
6. Normen, certificering en model IBB .....	77
6.1 Normen .....	77
6.2 Certificering .....	79
6.3 Accreditatie .....	83
6.4 Model Integrale Brandveiligheid Bouwwerken (IBB) .....	85
6.5 Toepassing in de praktijk .....	88
6.6 Bronnen .....	89
7. Warmtetransportmechanismen .....	91
7.1 Warmtetransport, algemeen .....	91
7.2 Warmtetransport door geleiding .....	92
7.3 Convectief warmtetransport .....	98
7.4 Warmtetransport door straling .....	102
7.5 Toepassing in de praktijk .....	109
8. Het verbrandingsproces en de natuurlijke brand .....	110
8.1 Het verbrandingsproces .....	110
8.2 Gecontroleerde verbranding versus brand .....	115
8.3 Brandscenario: temperatuur vs. brandvermogen .....	120
8.4 Consequenties van het brandscenario voor personen en constructies .....	123
8.5 Toepassing bouwkunde .....	126
8.6 Bronnen .....	126
9. Gedrag van constructies bij brand .....	128
9.1 Inleiding .....	129
9.2 Brandgedrag van veel voorkomende materiaalsoorten .....	130
9.3 Brandgedrag oppervlakte materialen .....	132
9.4 Brandwerendheid met betrekking tot scheidende functie .....	136
9.5 Brandwerende constructies .....	140

9.6 Draagconstructies .....	142
9.7 Doorvoeren .....	146
9.8 Bronnen .....	148
<b>10. Installatietechnische brandveiligheid .....</b>	<b>149</b>
10.1 Gelijkwaardige veiligheid aan de bouwregelgeving .....	150
10.2 Brandbeveiligingsystemen .....	151
10.3 Blussystemen .....	152
10.4 Brandmeld- en ontruimingsinstallaties (ontruimingalarmsystemen) .....	168
10.5 Andere brandbeveiligingsystemen .....	174
10.6 Bronnen .....	178
<b>11. Probabilistische benadering van brandveiligheid .....</b>	<b>179</b>
11.1 Van prescriptieve regels naar risicodoelen .....	180
11.2 Probabilistische benadering van veiligheid .....	183
11.3 Risicodoelen .....	186
11.4 Kwantificeren van risicodoelen .....	188
11.5 Probabilistische benadering voor het branduitbreidingsgebied .....	195
11.6 Risicobenadering voor privaatrechtelijke doelen .....	204
11.7 Toepassing in de praktijk .....	204
11.8 Bronnen .....	205
<b>12 Partners .....</b>	<b>206</b>

# 1 Introductie Basis brandveiligheid van gebouwen

Auteur: ir. R.A.P. van Herpen FIFireE

Dit lesboek is bedoeld als basis voor het brandveiligheidsonderwijs in de propedeuse van bouwgerelateerde hbo-opleidingen. Met deze basis is het mogelijk een verdieping in de postpropedeuse in te richten. De studiebelasting kan variëren, afhankelijk van oefeningen en casussen die aan de lesstof toegevoegd kunnen worden.

## 1.1 Opzet lesstof

De basis brandveiligheid van gebouwen is beperkt in omvang en redelijk algemeen, dus niet opleidingsspecifiek. Het kan gebruikt worden in het bouwgerelateerde hbo in Nederland. In deze basis gaat niet zozeer om het rekenen aan brandveiligheid of het toepassen van rekenregels, maar om het ontwikkelen van een visie op brandveiligheid in gebouwen. Dat betekent dat begrip gekweekt moet worden van de brandhaard (de bron), de respons van constructies, installaties en gebouwgebruikers en van de veiligheidsrisico's die daarvan het gevolg zijn. Uiteindelijk kan hieruit een brandveiligheidsconcept worden ontwikkeld, rekening houdend met het publiekrechtelijke veiligheidsniveau en de specifieke kenmerken van de brandstof (vuurlast), het gebouw en het gebruik ervan.

Vanuit deze basis kan eventueel verdieping plaatsvinden in specifieke vakken die in bouwgerelateerde opleidingen gegeven worden, zoals ruimtelijk-functioneel ontwerpen, constructieleer, materiaalkunde, bouwfysica en installatietechniek. Echter, er is ook verdieping mogelijk in vakken op het gebied van gebouwbeheer, management, organisatie en menselijk gedrag. De integraliteit en consistentie van de brandveiligheidsonderwerpen in die verschillende vakken worden in dit lesboek geborgd.

Het lesboek bestaat uit 7 modules. In tabel 1 zijn de leerdoelen per lesmodule beschreven. Een module bestaat uit één of twee hoofdstukken, afhankelijk van de onderwerpen die in dat hoofdstuk aan bod komen en de diepgang die per onderwerp wordt nagestreefd.

Leerdoel per leseenheid	Thema per leseenheid	Hoofdstuk
1. Inzicht in brandveiligheidsconcepten en de verschillen tussen een risicobenadering voor (brand)veiligheid en een effectbenadering voor (brand)veiligheid.	Brandveiligheidsconcepten, risicobeheersing en effectbeheersing (Veiligheid en risico)	H2
2. Begrip van brand en de effecten zijn op het menselijk lichaam (fysiologie) en de menselijke geest (psychonomie).	Fysiologische en psychonomische aspecten bij brand (Basis)	H3 en H4
3. Inzicht in de opbouw van de wet- en regelgeving met betrekking tot brandveiligheid in Nederland en de rol van normering en certificering hierin.	Wet- en regelgeving, normering en certificering (Basis)	H5 en H6
4. Warmtetransportmechanismen onder brandcondities kunnen beschrijven, begrip van de verspreiding van warmte en rook in een gebouw, afhankelijk van de brandscenario's.	Branddynamica en natuurlijke brand (Bron)	H7 en H8
5. Inzicht in de respons van constructies en constructie-elementen op een brandscenario.	Constructiegedrag (Respons)	H9
6. Inzicht in de respons van installaties op een brandscenario.	Installatietechnische brandbeveiliging (Respons)	H10
7. Risico's van een brandscenario kunnen analyseren door toepassing van een foutenboom en gebeurtenissenboom.	Risicoanalyse en consequenties voor de organisatie (Veiligheid en risico)	H11

Tabel 1: Overzicht van leerdoelen en thema's in de basismodule.

## 1.2 Verbindingen met andere vakken

Brandveiligheid bezit uiteraard verbindingen met andere vakken in het bouwgerelateerde hbo. Te denken valt aan:

- Ruimtelijk-functioneel ontwerpen
  - Invloed van compartimentering op de gebouw lay-out
  - Situering van vluchtroutes in de gebouwlay-out
  - Vluchtveiligheid en ruimtelijk-functionele lay-out combineren
  - Benodigde uitgangsbreedten, opvangcapaciteiten, doorstroomcapaciteiten
- Constructieleer
  - Thermisch gedrag van constructies
  - Thermische en mechanische belasting onder brandcondities



- Mechanische respons onder brandcondities
- Materiaalkunde
  - Materiaaleigenschappen onder brandcondities
  - Materiaalgedrag onder brandcondities
- Bouwfysica
  - Niet-stationair warmtetransport onder brandcondities
  - Thermisch gedrag van constructies
  - Thermische en optische belasting van het binnenklimaat
  - Brand- en rookventilatie
- Installatietechniek
  - Branddetectie en brandmelding (E)
  - Automatische blusinstallaties (E en W)
  - Brand- en rookventilatie (E en W)
- Gebouwbeheer en gebouwmanagement
  - Gebruik en activiteiten in relatie tot het brandbeveiligingsconcept
  - Borging van gebruik en brandbeveiligingsinstallaties
  - Beleid en duurzaamheid
- Menselijk gedrag (sociaal psychologisch)
  - Invloedsfactoren voor menselijk gedrag
  - Organiseren van gewenst gedrag
  - Borging van organisatie

Kom  
verder



# MODULE 1

## Hoofdstuk 2

### Brandveiligheid: effectbeheersing of risicobeheersing

**Leerdoel:**

Begrip krijgen van de verschillen tussen risicobeheersing met risicodoelen voor brandveiligheid en effectbeheersing met (brand)veiligheidsvoorschriften.

## 2. Brandveiligheid: effectbeheersing of risicobeheersing

Auteurs: ir. R.A.P. van Herpen FIFireE  
ir. E. Janse

Dit thema geeft een verkenning van wat wel een projectspecifieke beschouwing van brandveiligheid wordt genoemd. Daarmee wordt bedoeld dat brandveiligheid niet met generieke regels wordt bereikt, maar bepaald wordt door projectspecifieke kenmerken, zoals de bouwkundige kenmerken van het gebouw, het gebruik van het gebouw, de bijbehorende inrichting en de installatietechnische en organisatorische maatregelen.

Het doel van dit thema is om inzicht te geven in:

- projectspecifieke brandveiligheid door brandbeveiligingsconcepten;
- de bouwstenen die voor een brandbeveiligingsconcept van belang zijn;
- risicobeheersing als raamwerk voor dat concept, in plaats van effectbeheersing dat met brandveiligheidsvoorschriften wordt nagestreefd.

Het thema is als volgt opgebouwd:

- introductie;
- van regels naar concepten;
- van effectbeheersing naar risicobeheersing;
- de rol van brandfysica.

### 2.1 Introductie

Om brandveilig te kunnen bouwen en gebouwen veilig te kunnen gebruiken moet eerst worden vastgesteld wat 'veilig' is. Het zal altijd zo zijn dat 'nog veiliger' niet altijd haalbaar is. Kosten, maar ook gebruiksgemak, flexibiliteit en duurzaamheid kunnen hierin belemmerende factoren zijn. Maar wat is dan wel voldoende veilig en welke maatregelen zijn daarvoor nodig, welke zijn het overwegen waard en welke voeren te ver? Immers, behalve bij bunkers die niet gebruikt worden en dus leeg zijn, zijn brandrisico's in gebouwen altijd aanwezig. De kunst is deze risico's voldoende in te perken.

Van oudsher werd de brandveiligheid in de Nederlandse bouw bepaald door de plaatselijke brandweer. Echter, vanaf 1992 is de brandveiligheid landelijk uniform geregeld met de komst van het eerste Bouwbesluit. Daarmee waren nog niet alle vragen opgelost. Met de aanpassingen in de Woningwet en andere overheidsdocumenten is de laatste jaren de rol van de gebouweigenaar steeds belangrijker geworden. De

gebouweigenaar is de eindverantwoordelijke geworden en heeft ook de ‘zorgplicht’ als het gaat om brandveiligheid.

*Zoek de verschillen!*

De onderstaande figuren geven twee voorbeelden van gelijke gebruiksfuncties, waarvoor in de publiekrechtelijke regelgeving gelijke brandveiligheidseisen gelden. Uit oogpunt van brandveiligheid is er dus geen verschil tussen de voorbeelden in figuur 1 en evenmin tussen de voorbeelden in figuur 2. Of toch wel?



Figuur 1: Twee parkeergarages met elk circa 600 parkeerplaatsen. In het ene geval bevindt de parkeergarage zich geheel bovengronds zonder gevels (links), in het andere geval is de garage half verdiept en volledig besloten (rechts).



Figuur 2: Twee opslaghallen van ongeveer gelijke grootte en met eenzelfde vuurlast. In het ene geval vindt de opslag plaats bij omgevingstemperatuur (links: +20 °C), in het andere geval gaat het om een vriesveem (rechts: -20 °C).

In figuur 1 gaat het in termen van het Bouwbesluit om twee ‘overige gebruiksfuncties voor het stallen van motorvoertuigen’, die vanuit de regelgeving gezien identiek zijn en dus aan dezelfde prestatie-eisen moeten voldoen. Zo geldt voor de bovengrondse stalen parkeergarage een eis aan de brandwerendheid van de draagconstructie met betrekking tot bezwijken van 90 minuten. Dat wil zeggen dat de garage niet zomaar mag instorten als daar 90 minuten lang een ‘standaard brand’ heerst. Deze standaard brandkromme

leidt tot een zodanige temperatuur in de stalen hoofddraagconstructie dat het staal beschermd moet worden om dat te voorkomen (door bijvoorbeeld het toepassen van een brandwerende bekleding of coating).

Vanwege het ontbreken van gevels in de bovengrondse garage en het specifieke autobrandscenario (alleen een lokale brand van beperkte omvang), is in dit geval de temperatuuropbouw zo gering dat de stalen draagconstructie onbeschermd uitgevoerd kan worden. Dit kan worden onderbouwd aan de hand van brandtesten en modellen. Kortom, vanuit brandfysisch oogpunt is er een groot verschil tussen de niet-besloten bovengrondse garage en de besloten ondergrondse garage.

In figuur 2 gaat het om twee industrie functies voor het opslaan van goederen, die vanuit de regelgeving gezien identiek zijn en dus aan dezelfde prestatie-eisen moeten voldoen. Hier zijn eisen aan onder andere loopafstanden, uitgangsbreedte, brandoverslagrisico's naar de buurpercelen, in stand houding draagconstructies e.d. identiek. Echter, de kans op het ontstaan van een brand en het optreden van flashover, het moment waarop de brandruimte zo heet geworden is dat alle aanwezige brandstof spontaan gelijktijdig ontsteekt, is in de twee industrie functies geheel verschillend. Het optreden van flashover betekent dat een lokale brand overgaat in een volledig ontwikkelde compartimentsbrand: het gehele brandcompartiment staat in brand. Met name de ontstaanskans van brand is in het vriesveem aanzienlijk kleiner dan in de opslag bij omgevingstemperatuur. Kortom, wanneer rekening wordt gehouden met kansen, risico's en onzekerheden is er een groot verschil tussen het vriesveem en de opslag bij kamertemperatuur, terwijl de regelgeving dezelfde veiligheidsmaatregelen voorschrijft. Het denken in risico's en onzekerheden in brandveiligheid wordt wel een probabilistische benadering van brandveiligheid genoemd.

De bovenstaande voorbeelden geven aan dat de publiekrechtelijke regelgeving (Bouwbesluit) ongenueanceerd is, dat wil zeggen zwart-wit. Er moet worden voldaan aan de voorschriften in de regelgeving; als aan alle voorschriften wordt voldaan is het gebouw brandveilig en anders niet. Echter, sommige voorschriften kunnen bij een specifiek gebouw geen enkele waarde hebben, terwijl ze in een ander gebouw misschien niet streng genoeg zijn. Voorschriften kunnen dus tot verschillende veiligheidsniveaus leiden bij verschillende gebouwen, zelfs wanneer deze dezelfde gebruiksfunctie bezitten. Er kan niet gesproken worden van één veiligheidsniveau dat in de regelgeving vastligt.

Een eenduidig veiligheidsniveau kan wel worden bereikt door:

- Een meer fysieke benadering van brandveiligheid (en vluchtveiligheid); in combinatie met
- een probabilistische benadering.

## 2.2 Van regels naar concepten

### Regelgeving en brandfysica

In het Bouwbesluit wordt het minimum brandveiligheidsniveau vastgelegd door voor elke relevante grootte afzonderlijk een prestatie-eis met grenswaarden te definiëren. Ook de bepalingmethode voor de toetsing aan de grenswaarde is daarbij voorgeschreven. Zo zijn er eisen aan de maximale grootte van brandcompartimentering, de maximale loopafstanden, de doorstroomcapaciteit voor personen van vluchtroutes, de opvangcapaciteit voor personen van vluchtroutes, de brandwerendheid van draag- en scheidingsconstructies, etc. Door de grootheden afzonderlijk te beschouwen ontstaat een groot aantal eisen. Hoofdstuk 2 van het Bouwbesluit, waarin de bouwtechnische voorschriften uit oogpunt van veiligheid zijn opgenomen, illustreert dit.

Het grote aantal eisen kan als nadeel worden gezien. Toch heeft de uitsplitsing in prestatie-eisen in het Bouwbesluit ook belangrijke voordelen. De toetsing is relatief eenvoudig<sup>1</sup>; voor elke grootte hoeft alleen gecontroleerd te worden of aan de gestelde grenswaarde wordt voldaan. Dit is een ja/nee of een goed/fout toetsing, ongenueanceerd maar helder en eenduidig. De toetsing is daardoor ook goed reproduceerbaar.

Brandfysica speelt hierin geen expliciete rol. Natuurlijk heeft brandfysica op onderdelen een rol gespeeld in het opstellen van de regels, maar die rol is vaak ondergeschikt aan andere belangen. De regels zijn grotendeels historisch gegroeid, mede naar aanleiding van praktijkbranden. Brandfysica gaat in ontwerp en realisatie van een gebouw vooral een rol spelen wanneer een toetsing op elke grootte afzonderlijk niet meer mogelijk is. Dit is het geval in brandbeveiligingsconcepten en gelijkwaardige oplossingen, waarin met fysische modellen het voorzieningenniveau wordt gedimensioneerd om aan de functionele eisen van het Bouwbesluit te kunnen voldoen. In deze modellen zijn diverse grootheden met elkaar verweven. Een ongenueanceerde deterministische toetsing (goed/fout) is daardoor niet meer mogelijk. In dit geval is een meer genuanceerde en integrale benadering noodzakelijk op basis van een probabilistische toetsing (risico-analyse). Immers, er bestaat geen standaard brand en er is ook geen standaard respons van mens en constructie. Er zijn vaak veel scenario's mogelijk, elk met hun eigen waarschijnlijkheid.

Een eenvoudig voorbeeld is de loopafstand door de rook die in de vluchtroute mag worden afgelegd, het Bouwbesluit stelt dat deze bij brand beperkt moet zijn, waardoor al snel een indeling in (subbrand)compartimenten nodig is. Als dat onmogelijk of onwenselijk is, zoals in een grote niet-ingedeeld bijeenkomsthal, een grote winkelfunctie of een overdekte winkelstraat, dan kan een installatie voor de afvoer van

---

<sup>1</sup> De praktijk van 20 jaar Bouwbesluit wijst echter anders uit: brandveiligheid is berucht en wordt als complex ervaren.

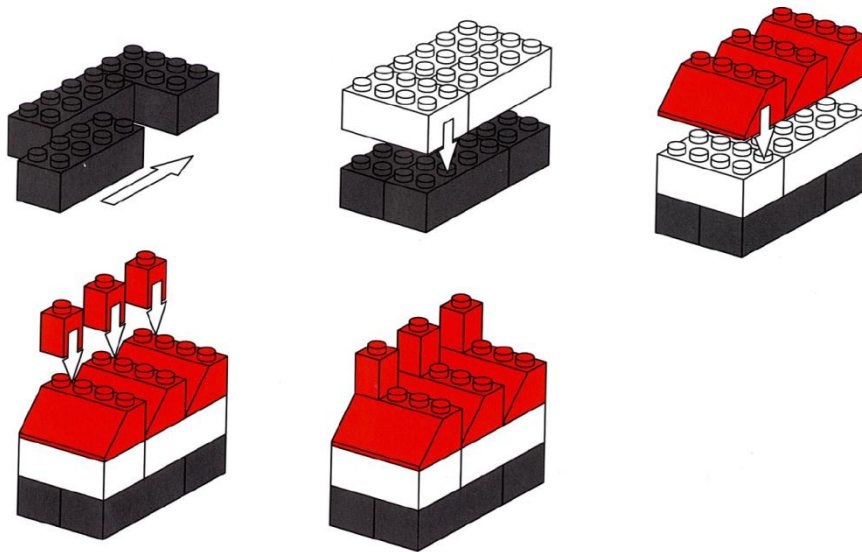
warmte en rook uitkomst bieden. Met zo'n rook- en warmteafvoerinstallatie (RWA-installatie) wordt de vluchtroute in geval van brand rookvrij gehouden, waardoor een grenswaarde aan de loopafstand door de rook niet meer van toepassing is. Een indeling in compartimenten kan dan achterwege blijven. Het Bouwbesluit staat dat ook toe, mits wordt gemotiveerd dat daarmee tenminste hetzelfde veiligheidsniveau wordt bereikt als met de voorschriften in het Bouwbesluit. Per project moet dat door de aanvrager gemotiveerd worden. De gemeentelijke afdeling Bouw- en woningtoezicht beoordeelt of de motivering correct is.



Figuur 3: Rook- en warmteafvoervoorzieningen in overdekte winkelstraten.

De aanpak met fysische modellen, gecombineerd met een probabilistische benadering leidt tot maatwerk brandveiligheid. Het brandbeveiligingsconcept legt daarbij vast hoe die fysische modellen via een risicoanalyse met elkaar verweven zijn. Een integrale aanpak van brandveiligheid dus!

In Nederland wordt een dergelijke aanpak slechts in incidentele gevallen gevolgd. Dit wordt veroorzaakt door de publiekrechtelijke regelgeving, waarin het veiligheidsniveau niet eenduidig is. Immers, de regelgeving voorziet alleen in effectbeheersing met relatief eenvoudige voorschriften. Voor een probabilistische benadering ontbreken daardoor toetscriteria (risicodoelen).



Figuur 4: In Fire Safety Engineering worden de fysische grootheden op de juiste manier met elkaar verbonden. Voor de weging van de verschillende grootheden wordt een probabilistisch model toegepast. Bovenstaand een voorbeeld waarin de legostenen de afzonderlijke fysische grootheden voorstellen. Door de op de juiste wijze met elkaar te verbinden ontstaan drie gekoppelde legohuisjes. Wanneer de legostenen op een ander wijze gestapeld worden ontstaat een heel ander (onbedoeld) bouwwerk.

### Denken in concepten

Het op de juiste wijze met elkaar verbinden van de verschillende fysische en empirische modellen wordt bepaald in het brandbeveiligingsconcept. Dit concept geeft de visie weer ten aanzien van brandveiligheid. De verschillende modellen zorgen voor een concrete uitwerking.

Het conceptueel denken is onderdeel van het ontwerpproces. Feitelijk gebeurt dit in alle disciplines.

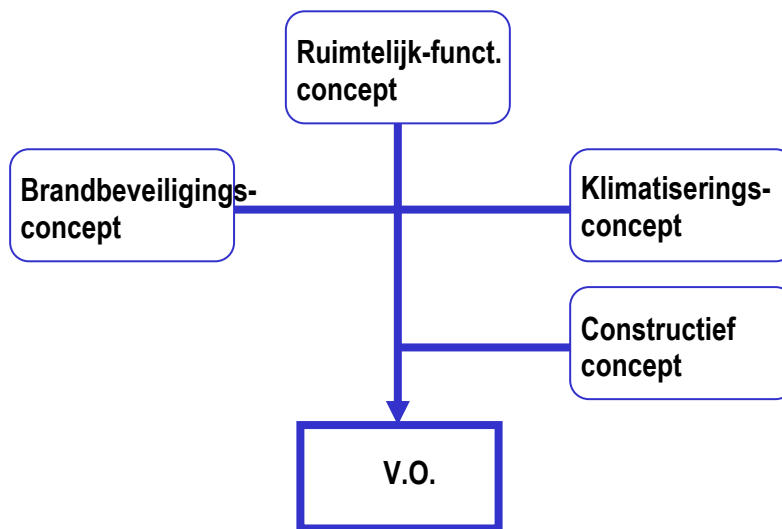
Zo gaat de architect uit van een ruimtelijk–functioneel concept, dat uit het van te voren opgestelde programma van eisen volgt, voordat hij dit concreet gaat vormgeven. De installatie–adviseur doet hetzelfde: hij gaat uit van een installatieconcept, dat voldoende comfort biedt volgens het programma van eisen en voldoende energiezuinig is volgens de bouwregelgeving (Bouwbesluit), voordat hij dit in concrete installaties gaat dimensioneren.

Voor brandveiligheid is eenzelfde denkwijze van toepassing: De brandveiligheidsadviseur moet uitgaan van een brandbeveiligingsconcept, dat voldoende veiligheid biedt volgens de bouw- en milieuregelgeving (Bouwbesluit, Activiteitenbesluit e.d.), voordat hij dit in concrete voorzieningen kan vertalen. Een belangrijk kenmerk daarbij is een genuanceerde beschouwing van het prestatieniveau dat wordt verlangd. Het gaat vaak niet meer om grenswaarden veilig/onveilig, maar om een probabilistische



benadering (risicoanalyse) en een scenario-benadering (met name voor vluchtveiligheid en inzet van hulpdiensten).

Het denken in concepten is essentieel voor brandveiligheid-op-maat, afgestemd op gebouw, installaties, organisatie en gebruikers.



Figuur 5: Integraal ontwerpen, concepten dienen ontwikkeld te worden voordat een Voorlopig Ontwerp (V.O.) tot stand komt.

## 2.3 Van effectbeheersing naar risicobeheersing

### Algemeen

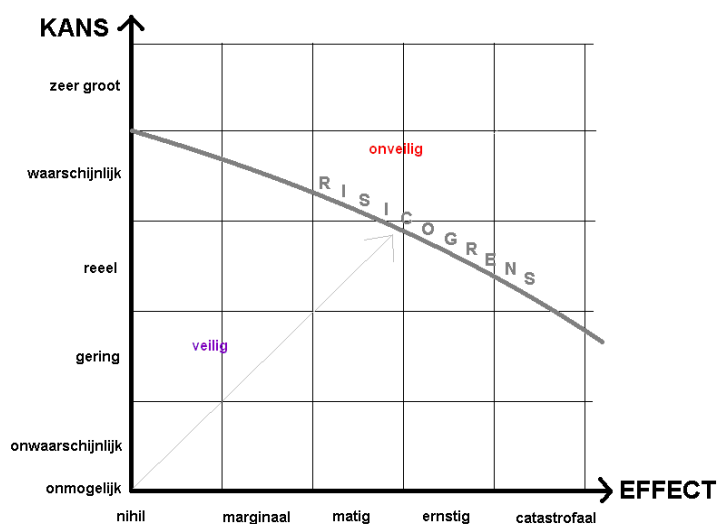
Het doel van een probabilistisch model is om veiligheidsrisico's bij brand te kunnen kwantificeren. Zo kunnen verschillende situaties eenduidig met elkaar vergeleken worden.

Risico kan worden gedefinieerd als het product van de kans op het optreden van een incident en het effect dat hiervan het gevolg is. Kans en effect behoeven hierin niet persé lineair gewogen te worden, maar voor het gemak gaan we hier van een lineaire relatie uit. Het product mag een gegeven grenswaarde (toelaatbaar risico) niet overschrijden:

$$\text{Kans} \times \text{effect} \leq \text{toelaatbaar risico}$$

Wanneer de kans op het optreden van het incident relatief groot is moet het effect daarvan juist klein zijn om het toelaatbare risico niet te overschrijden. Omgekeerd kan bij een kleine kans juist een groot effect worden toegestaan. Veiligheidseffecten worden doorgaans uitgedrukt in slachtoffers (gebouwgebruikers, hulpverleners en aanwezigen in de omgeving) en de schade-effecten in kosten.

De bovenstaande relatie is als een grenslijn tussen veilig en onveilig (het toelaatbaar risico) in de matrix van figuur 6 schematisch weergegeven. Zoals al is aangegeven hoeft dit niet persé een lineaire relatie te zijn. De assen in de matrix zijn voorzien van een kwalitatieve schaalverdeling. Kwantitatieve schaalverdelingen worden vaak in logaritmische assen weergegeven.

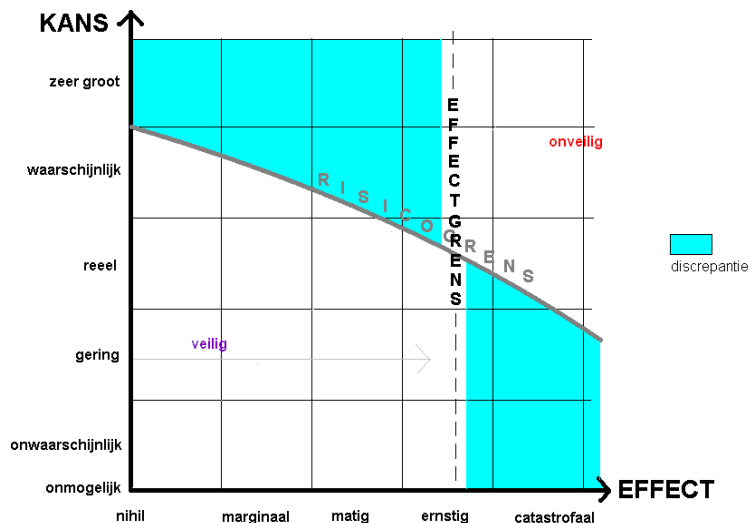


Figuur 6: Risicomatrix, kans en effect op verschillende assen uitgezet. De risicogrens hoeft niet perse als een lineaire relatie tussen kans en effect te worden gedefinieerd.

In de inleiding is al duidelijk geworden dat het veiligheidsniveau van de publiekrechtelijke regelgeving (Bouwbesluit) niet in een risicogrens te vertalen is. Dat wordt veroorzaakt door het deterministische karakter van de regelgeving, waarop een probabilistische benadering niet aansluit.

De regelgeving beperkt zich tot effectbeheersing. Het Bouwbesluit illustreert dit duidelijk. Hierin worden eisen voorgeschreven uit oogpunt van brandbeheersing, rookbeheersing, constructieve veiligheid en vluchtveiligheid, ervan uitgaande dat er een brand kan ontstaan. De kans op het ontstaan van brand en de ontwikkeling hiervan tot een compartimentsbrand wordt niet beschouwd.

In de matrix van figuur 6 betekent dit dat de veiligheidsgrenswaarde volgens het Bouwbesluit als een effectgrenswaarde kan worden weergegeven, zie figuur 7. Overigens moet daarbij nog worden opgemerkt dat deze effectgrenswaarde vrij diffuus is. Het toelaatbare effect is niet in alle situaties gelijk, maar kent een aanzienlijke bandbreedte.

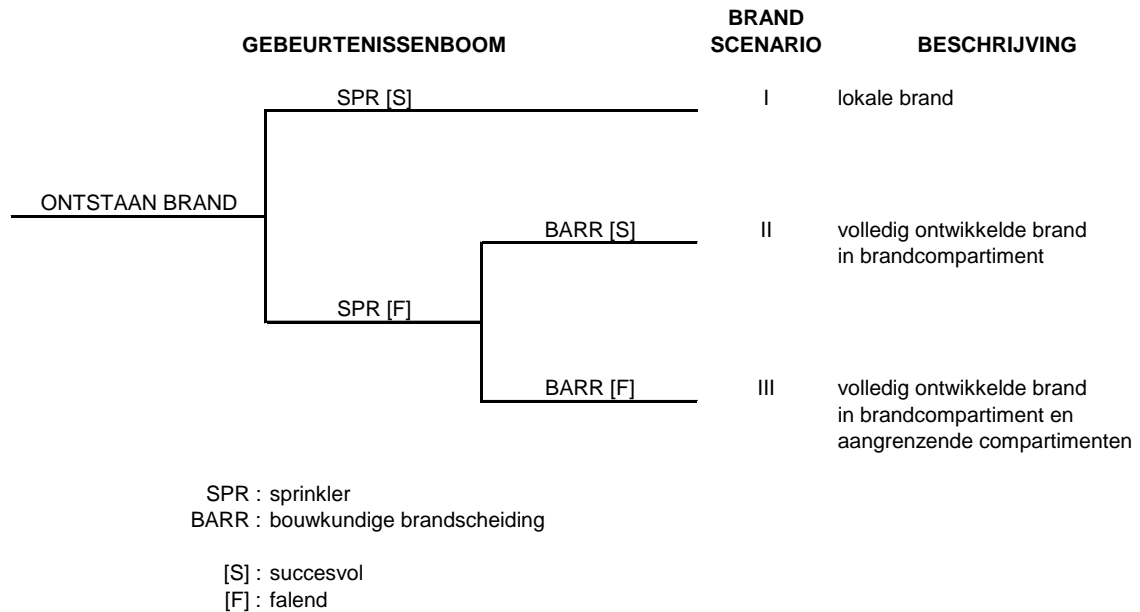


Figuur 7: De risicomatrix van figuur 6, nu met een effectgrenswaarde daarin weergegeven (veiligheidsniveau Bouwbesluit). Hierdoor kunnen grote verschillen ontstaan met een meer realistisch veiligheidsniveau, gedefinieerd in een risicogrenswaarde.

Een probabilistische benadering maakt een toetsing van het veiligheidsrisico dus beter mogelijk dan een deterministische benadering die zich beperkt tot effectbeheersing. Het probleem daarbij is nu wel dat het per definitie onmogelijk is om met een probabilistische benadering een aan het Bouwbesluit gelijkwaardig veiligheidsniveau te definiëren. Daarvoor is een nieuwe definitie van veiligheid noodzakelijk.

### Risicoanalyse

Kenmerk van een probabilistische benadering is een risicoanalyse van min of meer waarschijnlijke scenario's. Deze scenario's bestaan uit een aaneenschakeling van gebeurtenissen. Figuur 8 geeft een eenvoudig voorbeeld van een gebeurtenissenboom. Dit betreft het optreden van brand in een gesprinklerd compartiment en de eventuele ontwikkeling hiervan tot een compartimentsbrand of erger. Elke gebeurtenis heeft een eigen kans, zodat ook aan de drie scenario's die hierbij kunnen optreden kansen toegekend kunnen worden. Wanneer ook het effect van elk scenario bekend is, ligt het risico per scenario vast. Het totale risico is de sommatie van de afzonderlijke risico's van de verschillende scenario's. Dit totale risico zal getoetst moeten worden aan het toelaatbare risico (de risicogrenswaarde).



Figuur 8: Eenvoudige gebeurtenissenboom van mogelijke incidenten bij een brandbeheersingssysteem bestaande uit sprinklers SPR en bouwkundige brandscheidingen BARR (International Fire Engineering Guidelines, 2005)

Deze benadering is tijdrovend, zeker wanneer het meer complexe scenario's betreft. Voor elk scenario kan met een natuurlijk brandconcept de brandontwikkeling en het effect worden bepaald, meestal in combinatie met andere modellen (Fire Safety Engineering). Wanneer het effect van een scenario kan variëren en dus niet constant (discreet) is, zal de effectverdeling uit statistisch onderzoek moeten worden bepaald of moet de effectverdeling worden gegenereerd uit een groot aantal simulaties van het beschouwde scenario.

Om een dergelijk uitgebreide aanpak te vermijden kan met risicofactoren worden gerekend, die generiek bepaald zijn op basis van statistisch onderzoek. De methodiek hiervan is voor constructieve veiligheid (het in stand houden van draagconstructies) vastgelegd in NEN-EN 1990:2002, de basis voor de Eurocode. In de Eurocode wordt onderscheid gemaakt tussen belasting en respons. De belasting kan van mechanische aard zijn, maar ook van thermische aard (brand). Dit leidt tot een thermische en mechanische respons van de constructie. De uiteindelijke toetsing betreft dan de kans op het bezwijken van de draagconstructie (de ongewenste respons). Zolang deze kans kleiner is dan de toelaatbare faalkans is de constructie voldoende veilig.

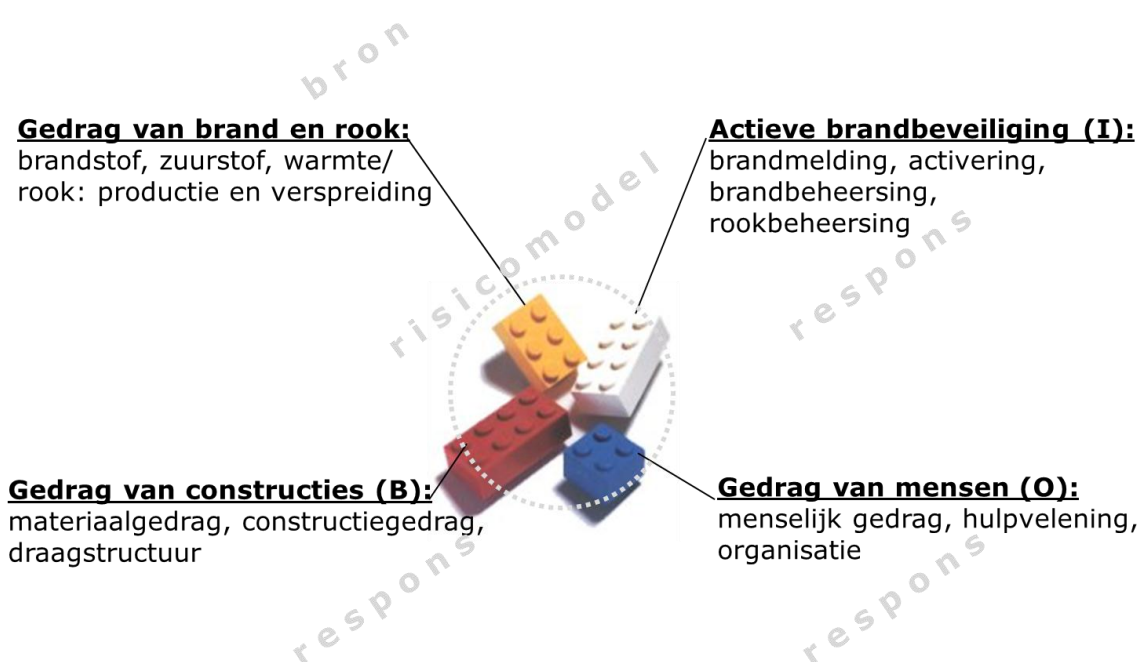
## 2.4 Brandfysica

### Fysische en empirische modellen

Om invulling te kunnen geven aan brandbeveiligingsconcepten en deze vervolgens te kunnen toetsen aan risicodoelen zijn fysische en empirische modellen nodig. Deze modellen beschrijven de optredende bron (temperatuur en rookverontreiniging) en de daarbij behorende respons van bouwkundige constructies (draag- en scheidingsconstructies), installatietechnische componenten (zoals brand- en rookmelders, sprinklerinstallaties e.d.) en aanwezige personen (gebouwgebruikers, bezoekers, hulpverleners en de organisatie daarvan) met behulp van fysische relaties.

Er wordt daarom ook wel gesproken van bronmodellen en responsmodellen. De bronmodellen beschrijven het verschijnsel brand en de bijbehorende temperatuur- en rookverdeling in de brandruimte en eventueel daarbuiten. De responsmodellen kunnen worden onderverdeeld in de BIO-systematiek, zoals die ook in het model IBB (integrale brandveiligheid bouwwerken) wordt toegepast:

- B :    bouwkundig
- I :    installatietechnisch
- O :    organisatorisch



Figuur 9: Om invulling te kunnen geven aan een brandbeveiligingsconcept moeten bron- en responsmodellen op de juiste wijze worden gekoppeld. De risicobenadering speelt hierin een grote rol. Hierin kan de betrouwbaarheid van de modellen worden gewaardeerd en wordt ook een toetsing aan risicodoelen mogelijk.

Naast onderscheid in bron- en responsmodellen is er ook onderscheid in resolutie (gradatie van geavanceerdheid) van modellen. Dit kan variëren van eenvoudige rekenregels tot dynamische simulatiemodellen die een groot aantal grootheden omvatten. Tabel 1 geeft een mogelijke klassering van modellen. De boodschap hierbij is dat het toepassen van eenvoudige modellen de voorkeur geniet en dat ervoor moet worden gezorgd dat bron- en responsmodellen een vergelijkbare resolutie bezitten. Het heeft doorgaans geen zin om een eenvoudig bronmodel te koppelen aan een geavanceerd responsmodel of omgekeerd.

	BRON	RESPONS		
		Bouwkundig	Installatietechnisch	Organisatorisch
<b>Rekenregels</b>	Standaard brandkromme	NEN-EN normbladen (Eurocode) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dragende functie</li> <li>• Scheidende functie</li> </ul>	NEN-EN normbladen <ul style="list-style-type: none"> <li>• Detectie</li> <li>• Alarmering</li> <li>• (Door)melding</li> <li>• Eventuele actieve brandbeheersingsinstallaties (RWA, sprinkler)</li> </ul>	Bouwbesluit en Regeling Bouwbesluit <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gebouwgebruikers</li> <li>• Hulpverleners</li> </ul>
<b>Stationair (zone)model</b>	Constant brandvermogen: Statisch zonemodel brandruimte	Thermisch responsmodel, vaak statisch of semi-dynamisch	Vaste randvoorwaarden voor activerings- en meldtijden	Vaste randvoorwaarden die aansluiten op het Bouwbesluit
<b>(Semi) dynamisch (zone)model</b>	Opgelegd brandvermogens-scenario: Dynamisch zonemodel brandruimte	Thermodynamisch responsmodel voor constructies met een dragende en een scheidende functie	Respons voor detectie, sprinkler, RWA, e.d. op basis van thermische belasting	Respons van gebouwgebruikers op basis van een meerzone vluchtmodel
<b>Simulatie-model (veldmodel)</b>	Simulatie brandontwikkeling op basis van brandstofkenmerken	Respons van dragende en scheidende constructies op basis van een thermodynamische simulatie	Respons voor detectie, sprinkler, RWA, e.d. op basis van lokale thermische en optische belasting	Respons van gebouwgebruikers op basis van een gebouwevacuatie simulatie

Tabel 1: Klassering en resolutie van brandfysische modellen.

## Denken in modellen

### *Een model is geen realiteit*

Een model is een vrij abstracte benadering van de werkelijkheid. Houd er dus rekening mee dat de werkelijkheid altijd anders kan zijn.

### *De kunst van het weglaten: gooi het overbodige overboord*

In een model worden alleen die grootheden opgenomen die van belang zijn voor de vraagstelling, de (gelijkwaardige) oplossing. Niet-relevante grootheden worden weggelaten. Deze vertroebelen de vraagstelling en de helderheid van de oplossing.

Indien de vraagstelling bijvoorbeeld betrekking heeft op de rookdichtheid in een compartiment, is niet per definitie een veldmodel (zoals CFD: Computational Fluid Dynamics) nodig. Wanneer de rookproductie (bron) en ventilatie (afvoer) bekend zijn, is tevens de gemiddelde rookdichtheid bekend. Dit volstaat om de zichtlengte te kunnen vaststellen; een veldmodel is daarbij niet nodig en maakt het vraagstuk wellicht gecompliceerder dan nodig. Alleen in specifieke gevallen kan een veldmodel meerwaarde bieden, bij voorbeeld om de ventilatie-efficiëntie nauwkeurig te bepalen. Bij een hoge ventilatie-efficiëntie (een effectievere afvoer van verontreinigingen) kan in principe met een lager ventilatiedebiet worden volstaan. Ook een beschouwing op detailniveau in de ruimte is mogelijk.

### *De kunst van het weglaten: gooi niet teveel overboord*

Niet zelden beïnvloeden grootheden elkaar. Bijvoorbeeld: De rookverspreiding wordt niet alleen bepaald door de rookproductie, maar ook door het brandvermogen, de verbrandingswaarde, de stoichiometrische constante en grootheden die met de ruimtebegrenzing en de ventilatie-installatie te maken hebben. Alleen die grootheden waarvan de invloed op de rookverspreiding verwaarloosbaar is kunnen worden weggelaten.

## 2.5 Natuurlijk brandconcept

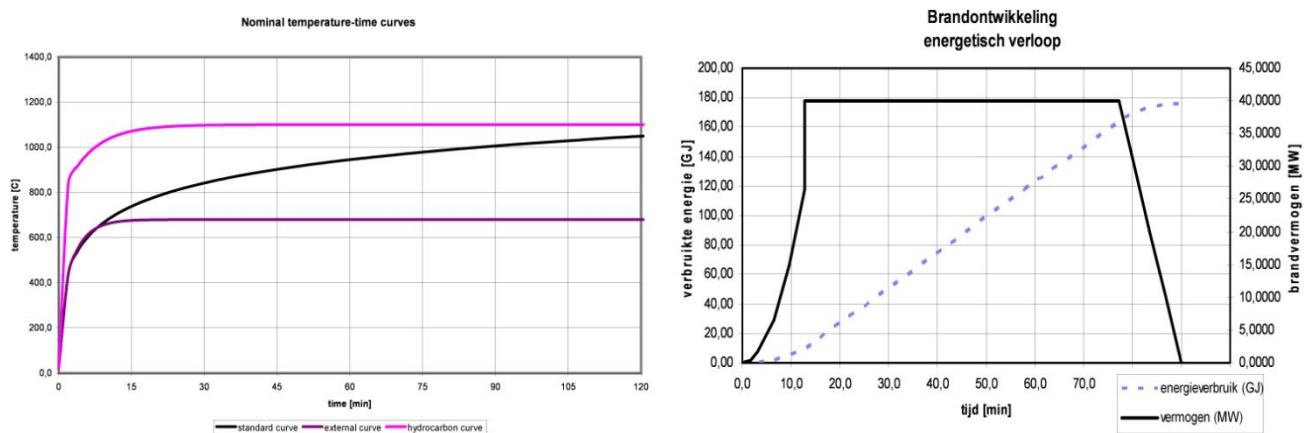
In de bepalingsmethoden volgens publiekrechtelijke regelgeving wordt uitgegaan van een stationaire brandsituatie. Dit betekent dat de maximale brandomvang het uitgangspunt is, er is dan sprake van een compartimentsbrand. De temperatuur in de brandruimte wordt daarbij bepaald volgens de standaard brandkromme, de nominale temperatuur-tijd curve die internationaal genormeerd is voor een standaard brand.

De werkelijke temperatuur in de brandruimte kan aanzienlijk afwijken van die standaard brandkromme. Immers, de temperatuur in de brandruimte is een afgeleide van het

brandvermogen en de ruimte-eigenschappen. In het natuurlijk brandconcept wordt voor de temperatuurontwikkeling in de brandruimte dan ook rekening gehouden met brandstofkenmerken en gebouwkenmerken, zoals:

- De referentie vermogensdichtheid van de brandstof.
- De tijdconstante van de brandstof voor branduitbreiding.
- De aard en hoeveelheid brandstof (vuurlast).
- De afmetingen en geometrie van de brandruimte.
- De materialisering van de brandruimte.
- De openingen in de scheidingsconstructie van de brandruimte.

Zo ontstaat een projectspecifiek brandscenario, waarmee maatwerkoplossingen in de BIO-systematiek kunnen worden ontwikkeld.



Figuur 10: In plaats van nominale temperatuur–tijd krommen (links) wordt in het natuurlijk brandconcept een brandvermogensscenario gehanteerd (voorbeeld rechts), afhankelijk van brandstof en brandruimte, zonder ingreep van buitenaf.

Het natuurlijk brandconcept dat in NEN 6055 is uitgewerkt, is een dynamisch zonemodel. Vaak zal dit na aanvang van de brand een twee–zonemodel zijn (een gestratificeerde situatie van een hete zone boven een koude zone), dat door opmenging of flashover na verloop van tijd in een één–zonemodel overgaat.

In het twee–zone model (de pre–flashover fase) bevindt de brandhaard zich in de koude zone en de verbrandingsproducten in de hete zone. Instroom in de hete zone komt tot stand via een rookpluim boven de brandhaard.

Het kenmerk van deze pre–flashover fase is dat de lokale brandhaard zich in alle richtingen met gelijke snelheid uitbreidt, onder de aanname van een homogeen verdeelde vuurbelasting. Dat resulteert in een brandoppervlakte die kwadratisch in de tijd toeneemt. Datzelfde geldt voor het brandvermogen (bij gelijke referentie

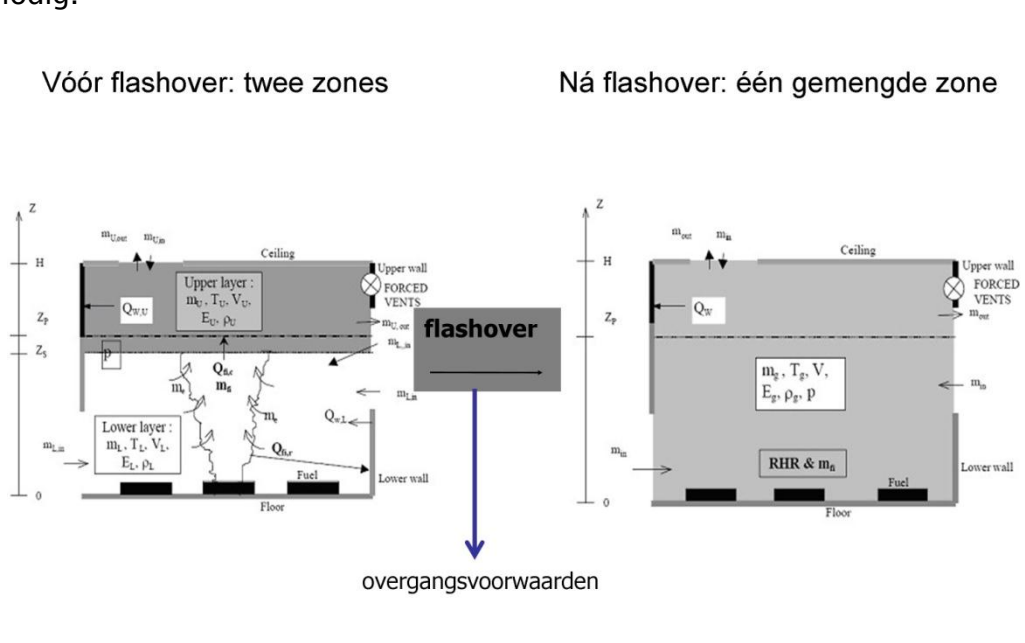


vermogensdichtheid). De snelheid van branduitbreiding wordt uitgedrukt in de tijdconstante. Dit is de tijdsduur (in seconden) waarbinnen een brand tot een brandvermogen van 1 MW uitgroeit. Deze tijdsduren kunnen flink uiteenlopen.

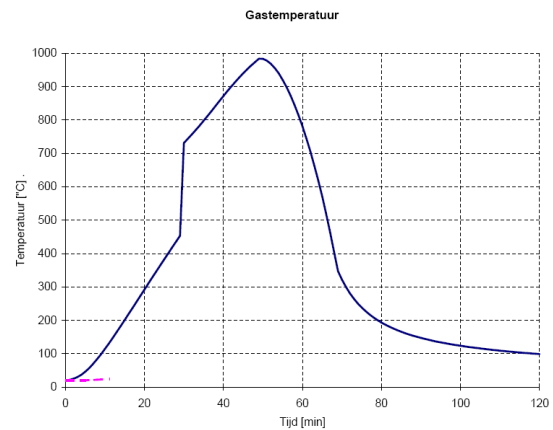
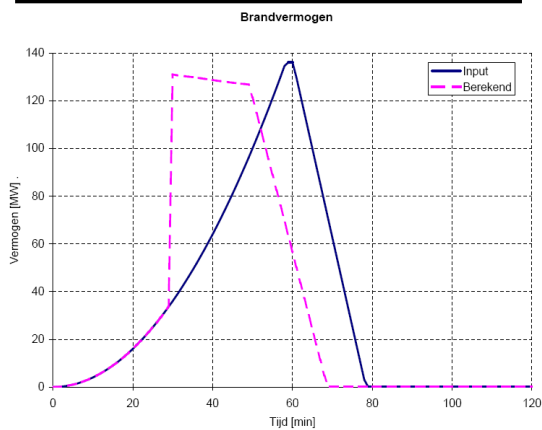
De brand blijft niet onbeperkt doorgroeien. De warmte in de ruimte neemt steeds verder toe, waardoor op een gegeven moment alle brandbare materialen in de brandruimte worden aangestoken, ongeacht de afstand tot de brandhaard. Dit verschijnsel wordt 'flashover' genoemd.

Na flashover (de post-flashover fase) is de lokale brandhaard overgegaan in een compartimentsbrand: alle brandstof in de brandruimte doet hieraan mee. In die situatie is het brandvermogen stationair en vrijwel altijd ventilatiebeheerst. Dat houdt in dat door zuurstofgebrek geen volledige verbranding optreedt, maar dat onverbrande of halfverbrande producten in het gasvolume van de brandruimte aanwezig zijn. Bij uitstroming uit de brandruimte verbranden deze producten alsnog volledig, omdat buiten de brandruimte voldoende zuurstof aanwezig is en de uitstromende gassen voldoende energie voor ontsteking bevatten. Dit verbrandingsverschijnsel levert uitslaande vlammen op.

Wanneer de brandstof opraakt treedt de dooffase op. Het brandvermogen in de dooffase neemt af tot nul, dit bepaalt de totale brandduur. De brandruimte is dan natuurlijk nog niet afgekoeld tot de beginsituatie (omgevingstemperatuur). Daarvoor is, afhankelijk van de bouwkundige eigenschappen van de brandruimte, nog een aanzienlijke afkoelingstijd nodig.



Figuur 11: Zowel een tweezone model (links) als een gemengde zone model (rechts) maken onderdeel uit van het fysisch brandmodel (verticale doorsnede van de brandruimte).



Figuur 12: Voorbeeld van een brandvermogensscenario in een brandcompartiment van een kantoorfunctie met het bijbehorende temperatuurverloop. Dit temperatuurverloop wijkt aanzienlijk af van de standaard brandkromme (zie figuur 10).

Binnen een zone worden de grootheden uniform verondersteld. Fluctuaties in bijvoorbeeld temperatuur of rookdichtheid binnen een zone kunnen dus niet inzichtelijk gemaakt worden. Indien dat noodzakelijk is zal een veldmodel (CFD) toegepast moeten worden.

Indien de brandruimte onderdeel uitmaakt van een groter brandcompartiment kan het natuurlijk brandconcept zowel op de brandruimte (scheidingen brandruimte intact) als op het totale brandcompartiment (scheidingen brandruimte bezwaken) worden toegepast. In theorie is het mogelijk om ook rekening te houden met het bezwijken van brandcompartimentsscheidingen en het natuurlijk brandconcept toe te passen op meer dan één brandcompartiment, bijvoorbeeld op het gebouw als geheel. In het algemeen moet branduitbreiding tot het gehele gebouw worden voorkomen, dit leidt tot dermate hoge brandtemperaturen en een zodanig lange brandduur dat dan ook draagconstructies zullen bezwijken, zie figuur 13. Brandcompartimentsscheidingen moeten dus een behoorlijke mate van betrouwbaarheid hebben om te voorkomen dat het gebouw volledig bezwijkt ten gevolge van de brand.



Figuur 13: Het uitgebrande gebouw van de faculteit Bouwkunde van de TU Delft (mei 2008). Door falende compartimentscheidingen kon de brandomvang zo groot worden dat dit heeft geleid tot hoge brandtemperaturen en een lange brandduur. Daardoor is uiteindelijk ook een deel van de hoofddraagconstructie bezweken. Het gebouw moest daardoor worden gesloopt.

## 2.6 Toepassing in de praktijk

Het voorgaande geeft aan dat het goed is om na te denken over de doelen die ten grondslag liggen aan de voorschriften in het Bouwbesluit. De voorschriften in het Bouwbesluit die gaan over brandveiligheid hebben vooral als doel om de kans op slachtoffers in geval van brand te beperken. Voor alle gebouwen gelden dezelfde voorschriften, hoewel de kans op brand, de kans op flashover en het effect daarvan op gebouwgebruikers heel verschillend kan zijn.

Voor gebouwen met een kleine kans op het ontstaan van brand of met een klein slachtofferrisico in geval van brand, zouden lichtere voorschriften kunnen volstaan dan voor gebouwen met een grote kans op het ontstaan van brand of met een groot slachtofferrisico. Ook de grootte van het gebouw speelt een rol. Per definitie zijn grote gebouwen met veel verdiepingen risicovoller dan kleine gebouwen.

Door onderlinge vergelijking kunnen gebouwen zo in risicoklassen ingedeeld worden. Wat vervolgens de doelen zijn die met een risicobenadering moeten worden gerealiseerd komt terug in module 7. Voor het invullen van die risicobenadering zijn bron- en responsmodellen noodzakelijk op basis van het natuurlijk brandconcept.

## 2.7 Bronnen

NEN-EN 1990:2002, *Eurocode – Grondslag van het constructief ontwerp(en)*, Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.

NEN-EN 1991-1-2:2002, *Eurocode 1: Belastingen op constructies – Deel 1-2: Algemene belastingen – Belasting bij brand*, Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.

NEN-EN 1991-1-2/NB:2007, *Nationale bijlage bij NEN-EN 1991-1-2:2002*, Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.

NEN 6055:2011, *Thermische belasting op basis van het natuurlijk brandconcept – Bepalingsmethode*, Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.

IFEG (2005), *International Fire Engineering Guidelines – edition 2005*, Canberra: Australian Building Codes Board.

Herpen, R.A.P. van, N.J. Voogd (2007), *Fysisch brandmodel – Achtergronden normalisatie fysisch brandmodel*, Zwolle: NEN-werkgroep Fysisch brandmodel (normcommissie brandveiligheid van bouwwerken).

Quintiere, J.G. (1998), *Principles of fire behavior*, Albany US: Delmar Publishers.

Kom  
verder



# MODULE 2

## Hoofdstuk 3

Fysiologische aspecten

## Hoofdstuk 4

Psychonomische aspecten

### **Leerdoel:**

Begrip van brand en de effecten zijn op het menselijk lichaam (fysiologie) en de menselijke geest (psychonomie).

### 3. Fysiologische aspecten van brand en rook

Auteur2: ir. R.A.P. van Herpen FIFireE  
ir. B. Kersten

Dit thema behandelt de fysiologische aspecten van brand en rook, dat wil zeggen de consequenties ervan voor het menselijk lichaam. Omdat 'brandveiligheid' inhoudt dat gedurende een bepaalde tijd een voor mensen veilige omgeving moet kunnen worden geboden, is het juist van belang te weten wat het menselijk lichaam kan verdragen.

Het doel van dit thema is om inzicht te geven in:

- de consequenties van een thermische belasting voor het menselijk lichaam;
- de consequenties van rook voor het menselijk lichaam.

Het thema is als volgt opgebouwd:

- brand en rook;
- fysiologische aspecten bij een thermische belasting;
- fysiologische aspecten bij rookverontreiniging.

#### 3.1 Brand en rook

Waar vuur is, is rook! Dat geldt ook zeker voor gebouwbranden, waar de rookvolumes zo groot zijn dat rookverspreiding in het gebouw een groot risico vormt. De meeste slachtoffers van gebouwbranden vallen ook niet door het directe effect van de brand (verbranding door warmtestraling of warmteconvectie ter plaatse van de brandhaard), maar door het indirecte effect van rook.

Rook ontstaat bij verbranding van een brandstof. Rook bevat hete verbrandingsgassen (vaak vooral CO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>O), vaste roetdeeltjes (verantwoordelijk voor zichtbelemmering en warmtestraling) en half verbrande producten (gevaar voor ontbranding, flashover en toxiciteit, zoals bij CO).

Rook is bedreigend voor de aanwezige personen en kan het vluchten belemmeren als gevolg van:

- blootstelling aan hete gassen;
- blootstelling aan warmtestraling;
- verlies van zicht;
- blootstelling aan toxische stoffen.

In hoeverre rook belemmerend of zelfs gevaarlijk is, hangt af van de toleranties van het menselijk lichaam voor rook: de fysiologische aspecten bij blootstelling aan rook. De fysiologische aspecten zijn bepalend voor de vluchtcriteria: wat is nog juist wel en wat is juist niet meer toelaatbaar voor de condities in de ruimte waar doorheen gevlucht moet worden?

### 3.2 Fysiologische aspecten bij thermische belasting

#### Convectieve warmte (ruimtetemperatuur)

Mensen die zich in hete lucht of rook bevinden, kunnen door twee mechanismen letsel oplopen:

- huidverbranding;
- longverbranding.

Het effect van de hete lucht op mensen is erg afhankelijk van de relatieve vochtigheid van de lucht. Bij droge lucht zijn hogere temperaturen draaglijk dan bij vochtige lucht. Denk hierbij aan een sauna waar men 15 minuten in een ruimte met een luchttemperatuur tot 90 °C kan verblijven. Zodra er water op de kachel wordt gegooid waardoor de luchtvochtigheid toeneemt, voelt de ruimte gelijk veel warmer aan en wordt het verblijf minder comfortabel.

#### *Droge lucht*

De onderstaande tabel geeft de temperatuurseffecten op mensen gebaseerd op convectieve warmte-overdracht in droge lucht.

<i>Temperatuur [°C]</i>	<i>Respons</i>
127	moeilijk ademen
140	tolerantielimiet 5 minuten
149	moeilijk door de mond ademen, grens voor vluchten
160	ondraaglijke pijn
182	onomkeerbare schade in 30 seconden
200	ademhalingssysteem bezwijkt binnen 4 minuten

Tabel 1: Temperatuur versus respons.

Boven een temperatuur van 150 °C ontstaan binnen 5 minuten huidbrandwonden. Veilig vluchten is dan niet meer mogelijk. Bij een temperatuur van minder dan 70 °C kan men langere tijd veilig verblijven (hoewel dit niet meer als comfortabel wordt ervaren).

Bij temperaturen tussen 70 en 150 °C is er een verband tussen de temperatuur  $T$  in °C en de tijdsduur dat men hieraan kan worden blootgesteld. Deze relatie is als volgt:

$$t = \frac{5,33 \cdot 10^8}{T^{3,66}} \text{ [s]}$$

### *Vochtige lucht*

In een omgeving met een zeer hoge luchtvochtigheid (een “watermist” omgeving – die ontstaat na gebruik van een sprinkler) zal bij een luchttemperatuur van 50 °C de warmteoverdracht naar de huid sterk zijn toegenomen. Daarnaast is er een grote kans op condensatie in de longen (die immers een lagere temperatuur hebben dan de omgevingslucht) waardoor de ademhaling wordt belemmerd met als mogelijk gevolg overlijden (letaliteit).

### *Samenvatting*

Samenvattend worden voor verblijf in een warme omgeving de volgende kritieke waarden voorgesteld:

- Hinderlijk: temperatuur  $\leq 70^\circ\text{C}$  indien droge omgeving.  
(oncomfortabel, maar wel veilig verblijf gedurende langere tijd mogelijk)
- Gevaarlijk: temperatuur tussen  $70^\circ\text{C}$  en  $150^\circ\text{C}$  indien droge omgeving.  
(vluchten mogelijk, maximale tijdsduur gerelateerd aan temperatuur)
- Letaal: temperatuur  $\geq 150^\circ\text{C}$  indien droge omgeving.  
(er ontstaan binnen 5 minuten brandwonden op de huid)
- Letaal: temperatuur  $\geq 70^\circ\text{C}$  indien de lucht verzadigd is van vocht (mist).

### **Warmtestraling**

Ook door de warmtestraling, uitgezonden door hete gassen en vaste oppervlakken – buiten het vlambereik en de hete rookgaszone – kunnen personen worden bedreigd. Hierbij is maatgevend:

- De intensiteit van de warmtestraling die invalt op de huid;
- De tijdsduur van blootstelling;
- De plaats die aan de warmtestraling wordt blootgesteld.



Radiant heat flux (kW/m <sup>2</sup> )	Observed effect
0.67	Summer sunshine in UK <sup>a</sup>
1	Maximum for indefinite skin exposure
6.4	Pain after 8 s skin exposure <sup>b</sup>
10.4	Pain after 3 s exposure <sup>a</sup>
12.5	Volatiles from wood may be ignited by pilot after prolonged exposure (see Section 6.3)
16	Blistering of skin after 5 s <sup>b</sup>
29	Wood ignites spontaneously after prolonged exposure <sup>a</sup> (see Section 6.4)
52	Fibreboard ignites spontaneously in 5 s <sup>a</sup>

<sup>a</sup> D.I. Lawson (1954)  
<sup>b</sup> S.H. Tan (1967).  
The data quoted for human exposure are essentially in agreement with information given by Purser (1995) and Mudan and Croce (1995).

Tabel 2: Effect van warmtestraling (Drysdale, 2002).

Meer gedetailleerde gegevens over de kritieke niveaus voor de warmtestralingsflux kunnen worden ontleend aan de richtlijn PGS-1 uit de publicatiereeks gevaarlijke stoffen. Deze geeft zogenaamde Probit-relaties voor eerste- en tweedegraads brandwonden en voor dodelijke blootstelling (letaliteit). Deze gegevens zijn afgeleid van gegevens voor infraroodstraling gemeten in experimenten met koolwaterstof vloeistofbranden. Het schadeniveau is afhankelijk van de opgenomen dosis warmte uitgedrukt in het product van de blootstellingduur “t” en de warmtestralingsflux “q”.

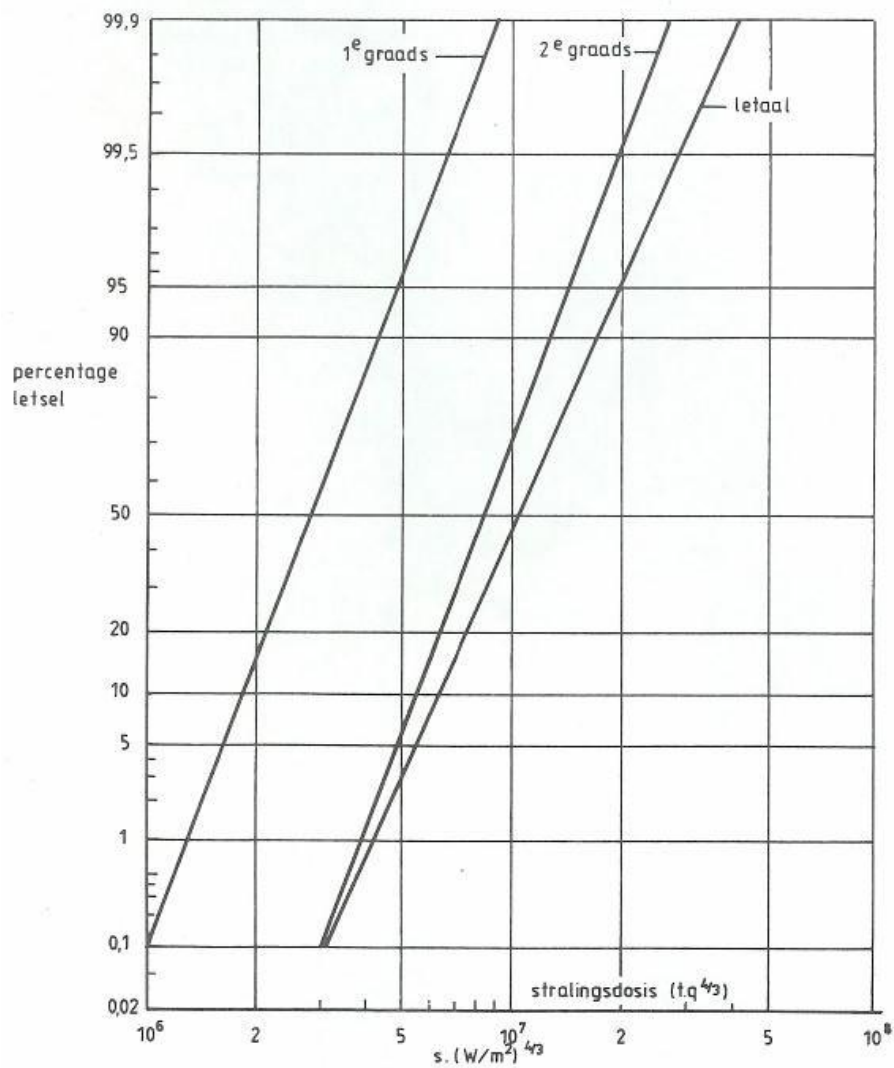
- eerstegraads brandwonden:  $\text{Probit} = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln(t \cdot q^{4/3})$
- tweedegraads brandwonden:  $\text{Probit} = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln(t \cdot q^{4/3})$
- dodelijk:  $\text{Probit} = -36,38 + 2,5600 \cdot \ln(t \cdot q^{4/3})$

De Probit-waarden worden via een conversietabel omgerekend naar de kans op optreden van het betreffende schadeniveau (zie figuur 1).

Hieruit blijkt dat bij een stralingsdosis van bijvoorbeeld  $1,05 \times 10^7 [\text{s(W/m}^2)^{4/3}]$  50% van de personen overlijdt. Dit komt overeen met 20 seconden lang 20 kW/m<sup>2</sup> of met 100 seconden lang 5,8 kW/m<sup>2</sup>. Eerstegraads brandwonden ontstaan al na 20 seconden blootstelling aan 7,3 kW/m<sup>2</sup> of na 100 seconden aan 2,1 kW/m<sup>2</sup>.

Nog een vergelijking: bij een blootstellingsduur tijdens vluchten van 100 seconden en een stralingsniveau van 6 kW/m<sup>2</sup> zal circa de helft van de vluchtenden omkomen, terwijl bij 2 kW/m<sup>2</sup> de helft van de vluchtenden eerstegraads brandwonden zal oplopen.

Overigens is in de PGS-1 niet duidelijk aangegeven of bij het schadeniveau "leetaal" (dodelijk) wordt uitgegaan van bijvoorbeeld een normaal gekleed persoon met een beperkt percentage naakte huid (zoals handen en hoofd). Bij een door kleding beschermde huid is niet alleen de warmtestraling bepalend voor de optredende schade. De belasting op de huid wordt dan ook bepaald door de kledingisolatie, rekening houdend met de eventuele luchtlagen hierin en het gedrag van de kleding bij brand (zoals smelten, verklevan en ontsteken).



Figuur 1: Schadeniveau versus stralingsdosis.

Samenvattend worden voor straling een tweetal kritieke waarden voorgesteld, gebaseerd op het effect na 100 seconden blootstellingsduur:

- hinderlijk: stralingsflux = 2 kW/m<sup>2</sup> (helpt vluchtenden eerstegraads brandwonden);
- letaal: stralingsflux = 6 kW/m<sup>2</sup> (helpt vluchtenden zal omkomen).

Andere kritieke waarden zijn ook denkbaar. Het definiëren van andere kritieke waarden kan noodzakelijk zijn wanneer de blootstellingsduur afwijkt van de hierboven gehanteerde tijdsduur. Het is in specifieke gevallen mogelijk om de blootstellingsduur, gerelateerd aan het aantal aanwezige personen, vast te stellen met behulp van gebouwvacuatiesimulaties. Daarmee is het mogelijk om 'projectspecifieke' oplossingen voor de vluchtveiligheid te engineeren (Fire Safety Engineering).

### 3.3 Fysiologische aspecten bij rookverontreiniging

#### Zicht

Een maatgevende bedreiging bij brand is zichtverlies door aanwezige rook. Hierdoor treedt desoriëntatie op met als gevolg dat mensen niet meer in staat zijn om (snel) de vluchtuitgangen te bereiken. Zichtverlies hangt samen met:

- lichtabsorptie en lichtverstrooiing door rookdeeltjes;
- irriterende werking van deeltjes en gas op de ogen.

De rookdeeltjes ontstaan in de vlammen als vaste deeltjes (as) en vloeibare deeltjes (condensaat). De productie is naast het verbrandingsproduct afhankelijk van de verbrandingscondities (temperatuur, zuurstoftoevoer). De rook verspreidt zich met de door brand geïnduceerde stroming en onder invloed van de heersende mechanische ventilatie.

Maatgevend voor de zichtomstandigheden is de zichtlengte. Dit is de afstand waarover een persoon voorwerpen kan waarnemen. Als relatie tussen de zichtlengte en de optische rookdichtheid geldt:

$Z_L = 1 / OD$  voor niet-lichtgevende voorwerpen;

$Z_L = 2,5 / OD$  voor lichtgevende voorwerpen.

Waarin:

$Z_L$  is de zichtlengte in m;

$OD$  is de optische rookdichtheid in m<sup>-1</sup>

Hierbij wordt uitgegaan van een gelijkmatige rookverspreiding in de ruimte waarin rookverontreiniging optreedt. Meestal varieert de optische dichtheid tussen verschillende locaties in die ruimte. In dat geval moet de zichtlengte worden bepaald door integratie

van de optische dichtheid tussen de verschillende locaties in de ruimte. De zichtlengte is dus vanuit het punt van de waarnemer richtingsafhankelijk.

De bouwregelgeving in Nederland kent geen grenswaarden voor zichtlengte. Het Bouwbesluit stelt een maximum aan de loopafstand die in het door rook belemmerde gebied mag worden afgelegd, afhankelijk van het aantal aanwezige personen. Dit komt vaak neer op een loopafstand van 30 meter in een rookcompartiment. Buiten een compartiment is de vluchtroute volledig rookvrij, omdat deze van de brandruimte gescheiden moet zijn door brand- en rookwerende scheidingsconstructies.

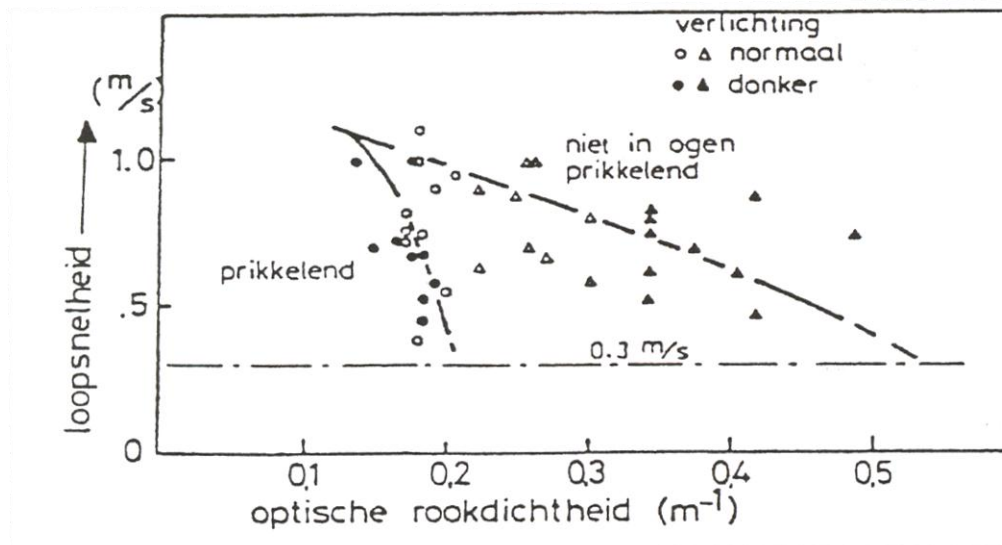
De maximale loopafstand van 30 m is ontleend aan:

- een blootstellingsduur van 30 seconden; bij een loopsnelheid van 1 m/s kan de afstand van 30 meter juist worden overbrugd door met ingehouden adem door de rook te lopen;
- de conservatieve veronderstelling dat rook zich door het gehele rookcompartiment kan hebben verspreid voordat aanwezigen vluchten.

Voor grotere compartimenten verwijst het Bouwbesluit (toelichting) naar een beoordelingsmethodiek "Vluchten bij brand uit grotere compartimenten". Hierin wordt gesteld dat een vluchtroute bruikbaar is zolang de zichtlengte berokken op niet lichtgevende voorwerpen ten minste 30 meter bedraagt.

Het is niet eenvoudig criteria te stellen aan de zichtlengte, overeenkomend met eerder genoemde effectniveaus als hinder, gewonden, doden. Immers, mensen raken niet gewond of overlijden niet als rechtstreeks gevolg van het niet kunnen zien. Dat kan wel gebeuren als zij, doordat zij niet goed kunnen zien, zich niet snel genoeg in veiligheid kunnen brengen. Daarom ligt het meer voor de hand om een koppeling te leggen tussen zichtlengte, oriëntatie en loopsnelheid, in combinatie met de af te leggen afstand.

Door het verlies aan zicht gaan mensen langzamer lopen zoals in onderstaande figuur wordt geïllustreerd. Doordat mensen langzamer lopen, verblijven zij langer in de omgeving van de brand en worden daardoor langer aan warmte en toxische gassen blootgesteld. Als de rookdichtheid groter wordt dan  $0,5 \text{ m}^{-1}$  valt de loopsnelheid terug naar nul.



Figuur 2: Loopsnelheid, afhankelijk van de rookdichtheid.

Als de vluchtroute goed te lokaliseren is, blijft het gevaar beperkt tot genoemde vertraging in het vluchten. Als de vluchtroute niet te lokaliseren is zal de vertraging gepaard gaan met verlies aan gevoel voor de juiste richting; het risico op langdurige blootstelling neemt dan snel toe.

Samenvattend worden volgende kritieke waarden ter beoordeling van de conditie voor de rookdichtheid (OD) voorgesteld:

- lichte hinder:  $OD = 0,083 \text{ m}^{-1}$ : zichtlengte voor lichtgevende voorwerpen circa 30 m; bij deze zichtlengte heeft een gebruiker in een rookcompartiment zicht op minstens één (nood)uitgang met vluchtrouteaanduiding (verlicht pictogram);
- ernstige hinder:  $OD = 0,2 \text{ m}^{-1}$ : zichtlengte voor lichtgevende voorwerpen 12,5 m; zichtlengte voor niet lichtgevende voorwerpen 5 m; bij deze zichtlengte heeft een gebruiker meestal zicht op ten minste één van wanden die de ruimte omsluiten. Daardoor is oriëntatie nog juist mogelijk.
- desoriëntatie:  $OD = 0,5 \text{ m}^{-1}$ : zichtlengte voor lichtgevende voorwerpen 5 m; zichtlengte voor niet lichtgevende voorwerpen 2 m; bij deze zichtlengte heeft een gebruiker doorgaans geen zicht meer op vluchtrouteaanduidingen, wanden of andere constructie-elementen. Oriëntatie is dan niet meer mogelijk.

### Toxische gassen

Bij de effecten van rook op mensen wordt een onderscheid gemaakt tussen:

- oogirritatie (verminderd zicht op de vluchtroute) en disfunctioneren van ademhalingsorganen (ademen);
- toxische gassen die via de ademhaling in het bloed worden opgenomen; de dosis kan narcotische effecten hebben ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ) of anderszins het functioneren bemoeilijken (belangrijkste verbrandingsgassen:  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{HCN}$ ).

In tabel 3 zijn de effecten van blootstelling van CO vermeld.

<i>Concentratie CO [ppm]</i>	<i>Respons</i>
1500	Hoofdpijn na 15 minuten, bewusteloosheid na 30 minuten, dood na 60 minuten
2000	Hoofdpijn na 10 minuten, bewusteloosheid na 20 minuten, dood na 45 minuten
3000	Maximum blootstellingsduur 5 minuten, bewusteloosheid na 10 minuten
6000	Hoofdpijn en duizeligheid in 1 a 2 minuten, dood in 10 a 15 minuten
12800	Onmiddellijk effect: binnen 2 a 3 ademhalingen bewusteloosheid, dood na 1 a 3 minuten

Tabel 3: Effect van blootstelling aan CO-concentraties.

De onderstaande Probit-functie stemt voor het 50% letaliteitsniveau overeen met de gegevens uit de tabel, waarbij “t” de blootstellingsduur is en “C” de gemiddelde concentratie koolmonoxide tijdens de blootstellingsduur is in ppm (=10<sup>-6</sup> % v/v):

$$\text{Letaal (CO): Probit} = 37,92 + 3,7 \cdot \ln(t \cdot C)$$

### 3.4 Toepassing in de praktijk

Zoals hiervoor is beschreven spelen bij het beoordelen of nog voldoende veilig door een ruimte kan worden gevlucht veel parameters een rol. De luchttemperatuur, warmtestraling, zichtlengte en toxiciteit van gassen zijn allemaal van belang om te bepalen of vluchten nog mogelijk is of niet en zullen dus allemaal beschouwd moeten worden. Bij al deze grootheden gaat het bovendien om een relatie met de blootstellingsduur; bij een langere blootstellingsduur moeten strengere grenswaarden worden toegepast.

Bij het kiezen voor de acceptabele grenswaarden zal vaak worden uitgegaan van conservatieve (veilige) waarden. Zeker indien grote loopafstanden, dat wil zeggen groter dan 30 m, moeten worden afgelegd binnen een ruimte zal in veel gevallen het vluchten door de rook niet meer mogelijk zijn. De dichtheid van de rook zal voor de overbrugging van een dergelijke afstand namelijk al zo hoog zijn dat er kans is op desoriëntatie en inademen van teveel toxische stoffen. Daarom wordt er in grote ruimten met grote loopafstanden meestal gekozen voor een rookvrije zone, onder de rooklaag die bovenin de ruimte wordt opgebouwd, waarin veilig kan worden gevlucht. Deze zone is soms

mogelijk doordat er sprake is van een hoge ruimte met voldoende ruimte voor rookbuffering. Die rookbuffercapaciteit kan nog eens worden vergroot wanneer de rook via openingen in het dak kan worden afgevoerd (rook- en warmte-afvoer installatie).

Wanneer door een 'rookvrije' zone wordt gevluht worden desoriëntatie en inademen van teveel toxische stoffen voorkomen. Het is dan geen probleem om een loopafstand van meer dan 30 m kan te overbruggen. Uiteraard moet dan wel rekening worden gehouden met de warmtestraling afkomstig van de rook. Een grenswaarde van 2 tot 2,5 kW/m<sup>2</sup> is dan een acceptabele keuze (komt overeen met een rooktemperatuur van ongeveer 200 °C).

### 3.5 Bronnen

Drysdale Dougal – *An introduction to fire dynamics, second edition* – John Wiley & Sons, Chichester UK, 2002.

Ministerie van VROM – *Publicatiereeks gevaarlijke stoffen: PGS-1, deel 1A: Effecten van brand op personen* – Den Haag, maart 2005

Tadahisa Jin – *Visibility and human behavior in fire smoke, SFPE Handbook of fire protection engineering, 3<sup>rd</sup> edition* – Quincy, Massachusetts US, 2002

## 4. Psychonomie: Analysemodel vluchtveiligheid

Auteurs: dr. M. Kobes  
drs. N. Oberijé

Psychonomie richt zich op het onderzoeken van psychologische functies zoals bewustzijn, waarnemen, begrijpen, aandacht en waakzaamheid, leren en geheugen, spreken, bewegen en emotie. Eén van de grote uitdagingen in de psychologie bestaat uit het ontwikkelen van experimentele taken die het mogelijk maken om de precieze werkwijze van menselijke functies in kaart te brengen.

Het doel van dit thema is om inzicht te geven in de factoren die het menselijk handelen beïnvloeden, rekening houdend met de aanwezigheid van brand (en rook).

Het thema is als volgt opgebouwd:

- Introductie psychonomische benadering;
- kritische factoren voor de vluchtveiligheid;
- operationalisatie van kritische factoren voor de vluchtveiligheid;
- gebruik van het analysemodel vluchtveiligheid.

### 4.1 Noodzaak voor een psychonomische benadering

In de eerste fase van een brand zijn de aanwezigen in een gebouw vooral aangewezen op zichzelf en op de mensen in hun directe omgeving. Het gedrag van mensen in deze eerste fase is het meest bepalend voor de kans om de brand te overleven<sup>2</sup>. De mate van zelfredzaamheid bij brand is daarmee een belangrijke indicator voor de brandveiligheid van een gebouw. Voorheen werd vanuit de brandpreventie 'zelfredzaamheid' gezien als een onveranderlijke eigenschap van een persoon. Sime (1991) stelt daarentegen dat de mate van zelfredzaamheid van een persoon gedurende het vluchtproces kan variëren en afhangt van de omgevingscondities waarin de persoon zich bevindt. De mate van zelfredzaamheid is daarmee niet alleen afhankelijk van de persoonlijke kenmerken of het gebruikstype van het gebouw waarin de persoon zich bevindt. Ook het gebouwontwerp kan van invloed zijn op de mate van zelfredzaamheid.

In de praktijk blijken aanwezigen in een gebouw bij hun zelfredzame gedrag niet altijd ondersteund te worden door de huidige bij wet voorgeschreven veiligheidsmaatregelen. Zo blijken sommige aannames in het huidige brandveiligheidsbeleid niet overeen te komen met het menselijk gedrag bij werkelijke brandevacuaties. Dit komt mede doordat in de loop van de eeuwen een hiaat is ontstaan tussen enerzijds het brandveiligheidsbeleid en anderzijds de technologische en de menselijke aspecten die

---

<sup>2</sup> Purser en Bensilum 2001; Pires 2005



daadwerkelijk de brandveiligheid bepalen. Voorbeelden van uitgangspunten en aannames in het huidige beleid die niet overeenkomen met de kennis uit de literatuur zijn in tabel 1 weergegeven.

De voorbeelden van de verschillen tussen beleid en werkelijke brandveiligheid, zoals weergegeven in tabel 1, laten zien dat het brandveiligheidsbeleid in overeenstemming gebracht zal moeten worden met het werkelijke gedrag bij brand.

Uitgangspunt of aanname in beleid	Kennis uit incidentevaluaties en experimenten
De brandontwikkeling in een gebouw is conform de standaard brandkromme, ongeacht het gebruik van een gebouw en de materialen die aanwezig zijn.	De brandontwikkeling is afhankelijk van het type materiaal dat aanwezig is, zo wordt de verbranding van kunststoffen gekenmerkt door een ultrasnelle brandontwikkeling <sup>3</sup> .
Mensen die mobiel zijn kunnen zelfstandig vluchten.	Alle mensen in een brandsituatie kunnen tot op bepaalde hoogte te maken krijgen met beperkingen <sup>4</sup> en zijn daarmee potentieel verminderd tot niet-zelfredzaam.
Mensen gebruiken vluchtrouteaanduidingen om de dichtstbijzijnde uitgang te vinden.	Uit incidentevaluaties naar de ontvluchting bij 400 branden blijkt dat 92% van de overlevenden zich niet bewust is geweest van de aanwezigheid van vluchtrouteaanduidingen <sup>5</sup> .
Mensen vluchten via dichtstbijzijnde (nood)uitgang.	Mensen vluchten doorgaans via de bekende weg en nauwelijks via nooduitgangen <sup>6</sup> . De objectieve loopafstand is niet bepalend voor de routekeuze <sup>7</sup> . Bekende routes worden als korter ervaren dan onbekende routes <sup>8</sup> .
Mensen vluchten zodra ze een brandalarm horen.	Mensen (in een groep) negeren doorgaans onduidelijke signalen, zoals een brandalarm <sup>9</sup> . Mensen zullen eerder op verbale signalen reageren <sup>10</sup> . Sociale normen

<sup>3</sup> Chang en Huang 2005

<sup>4</sup> Tong en Canter 1985; Proulx 2007; Bukowski 2005; Averill e.a. 2007

<sup>5</sup> Ouellette 1993

<sup>6</sup> Sandberg 1997; Graham en Roberts 2000; Benthorn en Frantzich 1996

<sup>7</sup> Gwynne e.a. 2001; Løvås 1998

<sup>8</sup> Løvås 1998

<sup>9</sup> Boer 2002

<sup>10</sup> Proulx & Laroche 2001; Proulx 2000; Proulx & Richardson 2002; Sime 1983

	hebben een sterke invloed op de (non-) reactie van mensen op gevaarsignalen <sup>11</sup> .
De loopsnelheid van mensen is constant, ongeacht of men wel of niet door rook loopt.	Mensen die worden blootgesteld aan de effecten van brand lopen langzamer dan de loopsnelheid zoals verkregen uit loopexperimenten in normale omgevingscondities <sup>12</sup> .

Tabel 1: Verschil tussen beleid en daadwerkelijke brandveiligheid.

## 4.2 Psychonomie en zelfredzaamheid bij brand

### Het concept van psychonomie

Om het brandveiligheidsbeleid af te stemmen op het werkelijke gedrag bij brand zou wetenschappelijke kennis op gebied van psychonomie gebruikt moeten worden bij het bepalen van de brandveiligheidsvoorzieningen. Psychonomie is de wetenschap over de interactie tussen de omgeving en het gedrag van mensen in deze omgeving. In de psychonomie gaat het erom te ontdekken wat de wetmatigheden zijn die het menselijk gedrag bepalen. Deze wetmatigheden geven inzicht in hoe mensen informatie verwerken.

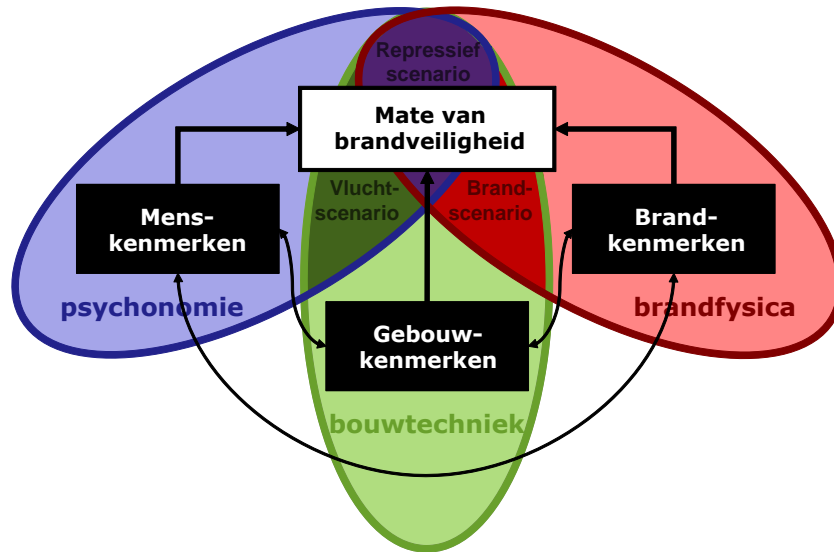
### Het concept van psychonomie

Psychonomie richt zich op het onderzoeken van psychologische functies zoals bewustzijn, waarnemen, begrijpen, aandacht en waakzaamheid, leren en geheugen, spreken, bewegen en emotie. Eén van de grote uitdagingen in de psychologie bestaat uit het ontwikkelen van experimentele taken die het mogelijk maken om de precieze werkwijze van menselijke functies in kaart te brengen.

Bij psychonomie op het gebied van brandveiligheid gaat het vooral om de menselijke perceptie van brand en de gebouwde omgeving. Bij het bepalen van de benodigde brandveiligheidsvoorzieningen is dan ook inzicht nodig in de interactie tussen de omgevingsfactoren, te weten de brandsituatie, het gebouwontwerp en de sociale factoren. Met andere woorden: de mate van brandveiligheid wordt bepaald door de brandkenmerken, de gebouwkenmerken en de mensenkenmerken, zie figuur 1.

<sup>11</sup> Sime 1983; Sime 1995

<sup>12</sup> Frantzich 1994; Isobe e.a. 2004; Nagai e.a. 2004



Figuur 1: Wetenschappelijke benadering van brandveiligheid.

Door gebruik te maken van een beoordelingssysteem dat is gebaseerd op de principes van *Fire Safety Engineering* (FSE) kan de psychonomische benadering in het proces van gebouwontwerp geïmplementeerd worden. Met het FSE beoordelingssysteem kunnen de benodigde brandveiligheidsmaatregelen voor een gebouwontwerp vastgesteld worden op basis van drie scenario's, namelijk het brandscenario, het brandbestrijdingsscenario (repressief scenario) en het gedragsscenario van de aanwezigen in een gebouw (vluchtscenario).

### Het concept van zelfredzaamheid bij brand

Het vluchtscenario zou vooral gebaseerd moeten zijn op kennis uit de psychonomie. Vluchten is een uiting van zelfredzaam gedrag bij brand. Dit betekent dat kennis nodig is over de beleidsmaatregelen die de aanwezigen in een gebouw ondersteunen bij hun zelfredzaamheid bij brand. De zelfredzaamheid bij brand is het menselijk vermogen om signalen van gevaar waar te nemen en te interpreteren, om beslissingen te nemen en om acties uit te voeren die gericht zijn op het overleven van een brandsituatie. Deze definitie is gebaseerd op de kennis over het ontwikkelingsproces van het menselijk gedrag bij brand. Het menselijk gedrag bij brand is gerelateerd aan drie bepalende fasen in het ontwikkelingsproces, waarin de volgende basisactiviteiten worden uitgevoerd :

- bewustwording van gevaar door externe stimuli (periode van bewustwording)
- validatie van en reactie op gevaarsignalen (periode van besluitvorming)
- uitvoeren van een actie, zoals het vluchten naar een veilige plaats (periode van verplaatsing).

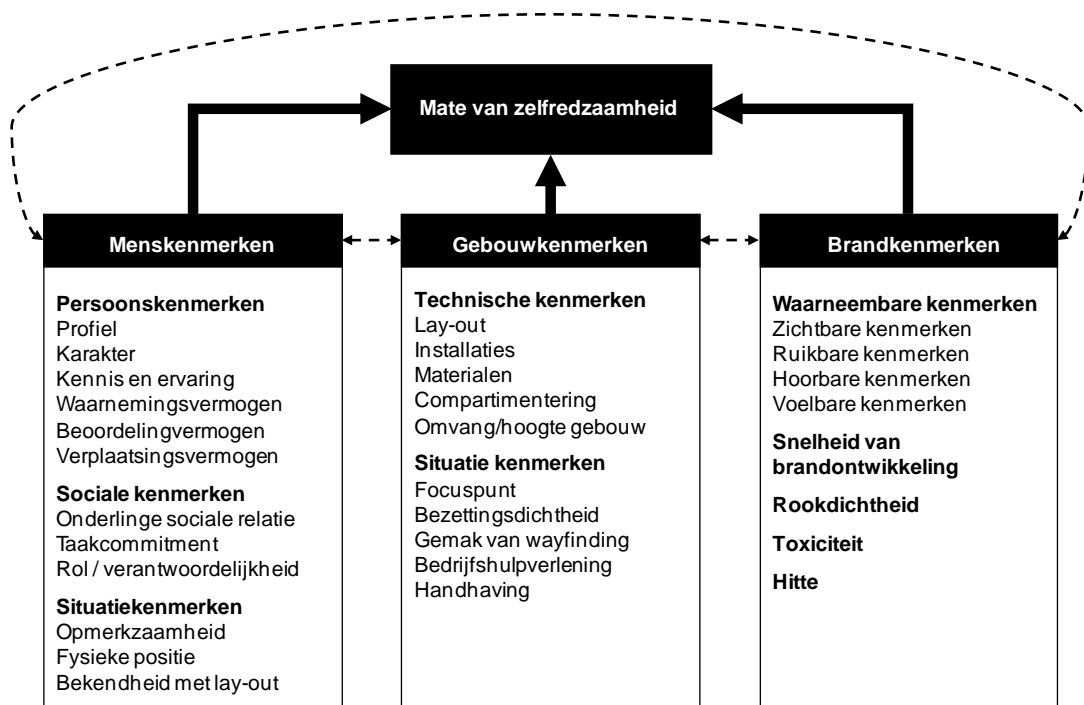
De mate van zelfredzaamheid van mensen bij brand in een gebouw wordt bepaald door drie aspecten, namelijk de 'brandkenmerken', de 'gebouwkenmerken' en de 'menskenmerken'. Per aspect zijn er kritische factoren te benoemen die van invloed zijn

op de vluchtveiligheid. Deze kritische factoren zijn in een model samengebracht, namelijk in het 'analysemodel vluchtveiligheid'. Het model is gebaseerd op bevindingen uit een literatuurstudie naar de brandveiligheid van gebouwen en het menselijk gedrag bij brand [Kobes, 2008].

### 4.3 Kritische factoren voor vluchtveiligheid

#### Theoretisch model

Het 'analysemodel vluchtveiligheid' geeft een overzicht van de kritische factoren die van invloed zijn op de vluchtveiligheid bij brand in een gebouw. Het overzicht van de kritische factoren zijn weergegeven in figuur 2.



Figuur 2: Kritische factoren voor vluchtveiligheid.

Een uitvoerige beschrijving van de kritische factoren is in de volgende paragrafen opgenomen. In paragraaf 3.2 volgt eerst een beschrijving van de brandkenmerken, in paragraaf 3.3 zijn de gebouwkenmerken beschreven en paragraaf 3.4 omvat een beschrijving van de menskenmerken.

#### Beschrijving van de brandkenmerken

Brand is een belangrijke reden om uit een gebouw te vluchten. De effecten van brand beperken bovendien de mogelijkheid van mensen om een gebouw veilig te verlaten. Dit

betekent dat brand invloed heeft op de mate van zelfredzaamheid. De kritische factoren voor zelfredzaamheid bij brand vanuit de brandkenmerken zijn:

- de waarneembare kenmerken van brand,
- de snelheid van brandontwikkeling,
- de rookdichtheid,
- de toxiciteit van brand,
- de hitte die bij brand vrijkomt.

#### *Waarneembare kenmerken*

De waarneembare kenmerken zijn onder te verdelen in *zichtbare*, *ruikbare* en *hoorbare* kenmerken. Deze kenmerken zijn van invloed op de snelheid van het ontdekken van een brand. Ook het *voelen* is onderdeel van het menselijk waarnemingsvermogen, maar blijkt echter geen sterke invloed te hebben op het ontdekken van brand. Uit diverse experimenten blijkt dat een ontruimingssignaal niet als een duidelijke aanwijzing voor brand wordt beschouwd<sup>13</sup>. De geur van rook of het zien van vlammen en rook zijn sterkere aanwijzingen voor een brand en de noodzaak van een ontvluchting<sup>14</sup>.

#### *Snelheid van brandontwikkeling*

De mate van brandontwikkeling kan worden bepaald aan de hand van een formule die uitgaat van een exponentiële groei. In de formule is het uitgangspunt dat de mate van brandontwikkeling afhankelijk is van de brandontwikkelingscoëfficiënt van het materiaal dat bij de brand betrokken is<sup>15</sup>. Er worden negen (standaard)brandkrommen met verschillende snelheden van brandontwikkeling onderscheiden<sup>16</sup>. De brandkromme van een ultrasnelle brandontwikkeling is van toepassing op branden waarin synthetische materialen zijn betrokken, zoals polyurethaan (PU).

De brandkrommen zijn overigens slechts een rekenkundige benadering van de brandontwikkeling en zijn niet noodzakelijkerwijs een weergave van een 'gemiddelde' brandontwikkeling. Toch is de snelheid van brandontwikkeling een belangrijke factor voor fataliteit bij brand, aangezien bij fatale branden veelal sprake is van een situatie die door overlevenden veelal wordt aangeduid als 'een plotseling zeer snelle branduitbreiding'<sup>17</sup>. Voorbeelden van fatale branden met een zeer snelle branduitbreiding zijn de brand in de Coconut Grove Dance Hall (Boston, 1942) waarbij 490 mensen zijn omgekomen, de brand in DuPont Plaza (Puerto Rico, 1986), waarbij 83 mensen het leven lieten, de brand in de discotheek in Gothenburg (Zweden, 1998) met 63 doden, de brand in café 't Hemeltje in Volendam (2001), waarbij 14 mensen zijn

---

<sup>13</sup> Proulx 2003

<sup>14</sup> Proulx 2003; Tong en Canter 1985

<sup>15</sup> Tang en Beattie 1997; Chang en Huang 2005

<sup>16</sup> Chang en Huang 2005

<sup>17</sup> Sime 2001; Kobes 2008a

omgekomen, en de brand in nachtclub/café The Station (Rhode Island, 2003), waarbij 100 dodelijke slachtoffers vielen.

### *Rookdichtheid en toxiciteit*

De meeste<sup>18</sup> dodelijke slachtoffers bij brand zijn te wijten aan inhalatie van rook en giftige verbrandingsgassen<sup>19</sup>. Andere effecten van blootstelling aan verbrandingsgassen en rook zijn<sup>20</sup>:

- uitschakeling van reactievermogen; bewusteloosheid;
- vertraagde loopsnelheid of aangepast gedrag zoals de keuze voor een langere vluchtroute;
- psychologische beperking voor ontvluchting als gevolg van de gevaarperceptie van de betreffende persoon;
- langdurige fysieke effecten<sup>21</sup>, zoals kanker, longbeschadiging en aantasting van het immuunsysteem<sup>22</sup>.

Verminderd zicht als gevolg van de rookdichtheid<sup>23</sup> en ademhalingsproblemen als gevolg van toxiciteit<sup>24</sup>, hebben een negatieve invloed op het gemak om de weg te vinden. Uit incidentevaluaties komt naar voren dat mensen tijdens een ontvluchting bij brand vaak geconfronteerd worden met rook<sup>25</sup>. Sommige mensen die door de rook naar buiten zijn gelopen, gaven aan dat zij tijdens de ontvluchting van route zijn gewijzigd, of zelfs zijn teruggelopen. Dit hebben zij gedaan vanwege ademhalingsproblemen, verminderd zicht, angst, of vanwege andere redenen<sup>26</sup>. Uit experimenten is gebleken dat mensen, wanneer sprake is van beperkt zicht, de neiging hebben om langs de wand te lopen<sup>27</sup>. Bovendien blijkt dat de loopsnelheid van mensen die geconfronteerd worden met rook en hitte langzamer is dan van mensen die in een situatie met een normale omgevingsconditie vluchten<sup>28</sup>. Het gebruik van geluidsbakens blijkt uit experimenten de loopsnelheid te versnellen<sup>29</sup>. Rook heeft ook invloed op de zichtlengte. De zichtlengte is de afstand waarbinnen objecten nog goed te zien zijn. Uit praktijkonderzoek door Jin<sup>30</sup> blijkt dat de zichtlengte voor mensen die bekend zijn met de omgeving ten minste 3–5 meter moet zijn. Voor mensen die niet bekend zijn met de omgeving, zoals het geval is

---

<sup>18</sup> Gann 2004

<sup>19</sup> ISO 2004

<sup>20</sup> ISO 2004

<sup>21</sup> ISO 2004

<sup>22</sup> Blomqvist 2005

<sup>23</sup> Frantzich 1994; Jin 2002; Gwynne e.a. 2001; Isobe e.a. 2004; Nagai e.a. 2004

<sup>24</sup> Irvine e.a. 2000

<sup>25</sup> Frantzich 1994; Gwynne e.a. 2001

<sup>26</sup> Gwynne e.a. 2001

<sup>27</sup> Gwynne e.a. 2001; Isobe e.a. 2004; Nagai e.a. 2004; Boer 2002

<sup>28</sup> Frantzich 1994; Jin 2002; Isobe e.a. 2004; Nagai e.a. 2004

<sup>29</sup> Isobe e.a. 2004; Nagai e.a. 2004; Boer 2003

<sup>30</sup> Frantzich 1994; Jin 2002

bij bijeenkomstgebouwen, moet de zichtlengte ten minste 15–20 meter zijn. Uit praktijkonderzoek door Rasbash<sup>31</sup> komt naar voren dat de zichtlengte ten minste 10 meter moet zijn, ongeacht men wel of niet bekend is met de omgeving.

### *Hitte*

Wanneer mensen gedurende een erg lange periode blootgesteld worden aan hitte, zullen zij negatieve effecten ervaren<sup>32</sup>. Eerst zullen zij fysieke effecten ondervinden, zoals zweten en het krijgen van een hogere hartslag<sup>33</sup>. Daardoor zal hun vermogen om beslissingen te nemen verslechteren. Wanneer mensen langer aan intense hitte worden blootgesteld, zullen zij gewond raken, zoals door brandwonden, wat uiteindelijk mogelijk leidt tot het overlijden van de gewonde persoon.

Aan de andere kant kan hitte voor mensen ook de belangrijkste reden zijn om te vluchten. Uit een video van de brand in het voetbalstadion Euroborg blijkt bijvoorbeeld dat de mensenmassa pas startte met vluchten nadat het extreem heet werd<sup>34</sup>. Een supporter zei namelijk: “Wat een hitte!”, en vlak daarna: “Wegwezen hier!”. Dat was het moment waarop de supporters van de tribune naar de uitgang vluchtten. Het is ook het moment in de brandontwikkeling waarop snel sprake kan zijn van een fatale omgevingsconditie. Er is sprake van een fatale omgevingsconditie als<sup>35</sup> de temperatuur in de omgeving hoger is dan 120°C, de hittestraaling groter is dan 2.5 kW/m<sup>2</sup> of als het zuurstofgehalte lager is dan 12%. Een fatale omgevingsconditie kan snel ontstaan wanneer schuimrubbers of kunststoffen bij de brand betrokken raken. Uit videobeelden van de brand in nachtclub/café The Station blijkt bijvoorbeeld dat binnen 90 seconden na het ontstaan van de brand er al sprake was van een fatale omgevingsconditie<sup>36</sup>. Uit de metingen van de testbrand in het nagebouwde café is naar namelijk voren gekomen dat<sup>37</sup> de maximale hitteflux na 61 seconden werd bereikt, de temperatuur na 76 seconden hoger was dan 120°C en dat na 87 seconden het zuurstofgehalte lager was dan 12%.

### **Beschrijving van de gebouwkenmerken**

De tweede factor die van invloed is op de mate van zelfredzaamheid (en daarmee de vluchtveiligheid) is de omgevingsfactor ‘het gebouw’. Een gebouw is een fysiek omsloten omgeving waarin mensen aanwezig zijn en waarin activiteiten worden uitgevoerd. De fysieke kenmerken van een gebouw vormen de omgeving waarin mensen hun zelfredzame gedrag kunnen vertonen. Deze fysieke omgeving biedt de primaire

---

<sup>31</sup> Frantzich 1994

<sup>32</sup> Purser 2002; Irvine e.a. 2004

<sup>33</sup> Graham en Roberts 2000

<sup>34</sup> Kobes e.a. 2010

<sup>35</sup> Purser 2002

<sup>36</sup> Grosshandler e.a. 2005; Bryner e.a. 2007

<sup>37</sup> Grosshandler et al. 2005

voorwaarde voor de mogelijkheid van het overleven van een brandsituatie. De kritische factoren voor zelfredzaamheid zijn hierbij de gebouwgebonden situatietekenen en de fysieke kenmerken.

### *Gebouwgebonden situatietekenen*

De gebouwgebonden situatietekenen bestaan uit de bezettingsdichtheid, het gemak om de weg te vinden (wayfinding), de aanwezigheid van een focuspunt, het optreden van een bhv-organisatie en de mate van handhaving van de brandveiligheidsvoorzieningen. De *bezettingsdichtheid* is het aantal mensen in een gebouw. In de literatuur is een direct verband geconstateerd tussen een hoge bezettingsdichtheid en een hoge kans op fataliteit bij brand<sup>38</sup>. Er is sprake van een groot *gemak om de weg te vinden* als de layout van het gebouw overzichtelijk is, waardoor mensen gemakkelijk de weg kunnen vinden. Er zijn vijf categorieën van omgevingsfactoren die het gemak om de weg te vinden beïnvloeden<sup>39</sup>:

- visueel bereik;
- mate van architectonische differentiatie, waarmee wordt bedoeld op de aanwezigheid van unieke gebouwkenmerken die bij de oriëntatie gebruikt kunnen worden;
- gebruik van bewegwijzering en locatieaanduiding;
- indeling van de plattegrond;
- bekendheid met het gebouw.

Er is sprake van een *focuspunt* als de aandacht van de aanwezigen is gericht op een centraal punt, zoals in een theater of leslokaal. Wanneer de acteurs (of docent) in geval van brand doorgaan met de voorstelling (of de les), zullen de toeschouwers (of de studenten) geneigd zijn te blijven zitten<sup>40</sup>. De *bedrijfshulpverlening* (bhv) wordt verleend door een groep mensen die in geval van nood in actie komt. Leden van een bhv-organisatie zijn personeelsleden die normaal gesproken al in een gebouw aanwezig zijn. Deze personeelsleden zijn onder andere getraind in brandbestrijding en in de coördinatie van een gebouwontuiming. Het optreden van een goed opgeleide en getrainde bhv-organisatie heeft een positief effect op de vluchtsnelheid<sup>41</sup> en op het gebruik van nooduitgangen<sup>42</sup>. Verder is de werking van getroffen brandveiligheidsmaatregelen essentieel om bij brand veilig te kunnen vluchten. In de praktijk blijkt het echter slecht gesteld te zijn met de *handhaving* van de functionaliteit van brandpreventieve maatregelen<sup>43</sup>.

---

<sup>38</sup> Sandberg 1997; Tubbs 2004

<sup>39</sup> Raubal en Egenhofer 1998

<sup>40</sup> Sandberg 1997

<sup>41</sup> Fahy en Proulx 2001; Purser 2003; Sandberg 1997; Sime 1991

<sup>42</sup> Johnson 2005; Graham en Roberts 2000; Sandberg 1997; Benthorn en Frantzich 1996; Proulx en Richardson 2002

<sup>43</sup> VROM 2004; VROM 2006; VROM 2007; Weges 2006a; Weges 2006b



### *Fysieke gebouwkenmerken*

De fysieke kenmerken van een gebouw die de zelfredzaamheid bepalen zijn vooral de lay-out, de installaties, de materialen in het gebouw, de compartimentering en de omvang van het gebouw. Onderdelen van de *lay-out* zijn de vluchtrouteaanduidingen, de opzet van de vluchtroutes en de uitvoering en de plaats van de (nood)uitgangen en (nood)trappenhuizen. Uit incidentevaluaties blijkt dat nooduitgangen die in normale situaties niet gebruikt worden, ook tijdens een noodsituatie niet gebruikt worden<sup>44</sup>. Dit geldt met name voor uitgangen die vergrendeld zijn met voorzieningen die het 'oneigenlijke gebruik' in normale situaties tegen gaan, zoals uitgangen die aangesloten zijn op een alarmsignaal. De *installaties* zijn onder te verdelen in roltrappen en liften, brandmeld- en ontruimingsalarminstallaties, noodverlichtinginstallaties en sprinklersystemen. Dit zijn installaties die toepasbaar zijn voor het merendeel van de typen gebruiksfuncties / gebouwtypen. Andere installaties, zoals warmte- en rookafvoerinstallaties, overdrukinstallaties, brandkleppen en dergelijke, worden veelal toegepast in gebouwen met specifieke brandveiligheidsproblematiek en komen daarom hier niet aan de orde. Over brandmeld- en ontruimingsalarminstallaties is bekend dat een beltoon of een slow-whoopsignaal zelden als een gevaarsignaal wordt herkend, en meestal door de aanwezigen in een gebouw wordt genegeerd<sup>45</sup>. Een brandalarm met een gesproken bericht, of een persoon die gerichte aanwijzingen geeft, wordt het meest serieus genomen<sup>46</sup>. Roltrappen en liften mogen doorgaans in geval van brand niet gebruikt worden. Uit incidentevaluatie is echter gebleken dat mensen wel geneigd zijn via roltrappen en liften te vluchten. Verder is gebleken dat het gebruik van roltrappen en liften de ontruimingstijd kan verkorten en met name in zeer hoge gebouwen levens kan redden<sup>47</sup>. Wanneer het gebruik van roltrappen en liften in geval van brand wordt toegestaan, is het noodzakelijk extra maatregelen te nemen die het veilig gebruik van de installaties garanderen<sup>48</sup>. Uit de studies naar de ontvluchting uit de WTC torens in 1993 en 2001 is naar voren gekomen dat meer mensen dan werd aangenomen problemen hadden met het vluchten via trappen, vooral wanneer een groot hoogteverschil overbrugd moet worden, krijgen de meeste mensen vermoeidheidsproblemen<sup>49</sup>. Bovendien zijn de meeste aanwezigen in hoge gebouwen met de lift naar boven gekomen en daardoor niet bekend met de locatie van de trappenhuizen<sup>50</sup>. Bij *materialen* valt te denken aan de (on)brandbaarheid van de materialen die gebruikt zijn voor de constructie, de afwerking en de inrichting van het gebouw. *Compartimentering* betreft de fysieke barrière voor branduitbreiding en rookverspreiding. In de literatuur is geen informatie aangetroffen over de invloed van de *omvang* van een gebouw op de

---

<sup>44</sup> Benthorn en Frantzich 1996

<sup>45</sup> Proulx 2000; Proulx en Laroche 2001

<sup>46</sup> Proulx en Richardson 2002; Proulx 2000; Proulx en Laroche 2001

<sup>47</sup> Fahy en Proulx 2001; Proulx 2001a; Averill e.a. 2005a

<sup>48</sup> Voor details over de noodzakelijke extra maatregelen zie de publicaties van Proulx (2001a) en Black (2002).

<sup>49</sup> Averill e.a. 2005; Proulx 2007; Bukowski 2005

<sup>50</sup> Averill e.a. 2005

zelfredzaamheid bij brand. Er mag echter worden aangenomen dat het gemak om de weg te vinden in een omvangrijk gebouw met veel bochten en splitsingen complex zal zijn.

### **Beschrijving van de menskenmerken**

Naast de gevaarfactor 'brand' is de menselijke factor van invloed op de zelfredzaamheid bij brand. Het gaat immers om het gedrag van mensen in een brandsituatie. Bij de bepaling van de mate van zelfredzaamheid wordt het gedrag van mensen beschouwd vanuit een individu (persoonskenmerken) en vanuit een groep personen (sociale kenmerken). De kritische factoren voor zelfredzaamheid bij brand vanuit de menskenmerken zijn de persoonskenmerken, de sociale kenmerken en de persoonsgebonden situatiekenmerken.

#### *Persoonskenmerken*

De bepalende persoonskenmerken zijn het karakter van de aanwezigen in het gebouw, de kennis en ervaring van de aanwezigen, het waarnemingsvermogen, het beoordelingsvermogen en het verplaatsingsvermogen.

Vanuit het *karakter* spelen drie eigenschappen een rol:

De belangrijkste eigenschap is het onderscheid tussen het karakter van leider of volger. De meeste mensen vertonen in geval van brand de karaktertrekken van een volger<sup>51</sup>.

Mensen die een volger zijn reageren in eerste instantie niet op de signalen van gevaar, maar wachten op anderen voordat zij zelf actie ondernemen.

De tweede karaktereigenschap die van belang is betreft de mate van stressbestendigheid. De mate van stressbestendigheid omvat ook het vermogen om met een verhoogd stressniveau om te gaan (coping, ofwel het vermogen om jezelf onder stress onder controle te houden en om het negatieve effect van stress te reduceren). De aanleidingen voor een verhoogd stressniveau bij brand kan liggen in de overschrijding van de informatieverwerkingscapaciteit<sup>52</sup> en de confrontatie met een onbekende situatie<sup>53</sup>. Te veel psychische stress kan het cognitieve proces en de reactie van mensen negatief beïnvloeden<sup>54</sup>. Een verhoogd stressniveau is overigens niet hetzelfde als paniek. Paniek kan gedefinieerd worden als irrationeel, onlogisch en ongecontroleerd gedrag<sup>55</sup>. Quarantelli was in 1954 de eerste sociaal wetenschapper die geen bewijs vond voor de aanwezigheid van het fenomeen paniek in geval van grootschalige incidenten<sup>56</sup>, waarna

---

<sup>51</sup> Cornwell 2003; Galea e.a. 2007

<sup>52</sup> Proulx 1993

<sup>53</sup> Verwey 2004

<sup>54</sup> Proulx 1993

<sup>55</sup> Sime 1990

<sup>56</sup> Sime 1990

andere onderzoekers, zoals Sime, Proulx en Auf der Heide, het beeld van het ontbreken van paniek bevestigden<sup>57</sup>.

De derde eigenschap is het geloof in eigen kunnen<sup>58</sup>. Daarbij is het uitgangspunt dat de meeste mensen een innerlijk systeem hebben dat hen in staat stelt om gedachten, emoties, motivaties en acties tot op zekere hoogte onder controle te houden<sup>59</sup>. Deze interne controle is gebaseerd op persoonlijke kennis, gevoelens en biologische kenmerken. Verder kunnen acties en de invloed van onze omgeving ook een rol spelen.

Het *waarnemingsvermogen* is de persoonlijke eigenschap om signalen van gevaar te kunnen opmerken. Door het gebruik van alcohol, drugs en narcotica wordt het waarnemingsvermogen tijdelijk beperkt<sup>60</sup>. Ook mensen die slapen hebben een laag waarnemingsvermogen<sup>61</sup>. Het *beoordelingsvermogen* is de inschatting van de gevaardreiging. Wanneer een brand als extreem gevaarlijk wordt gezien, zijn de aanwezigen eerder geneigd te vluchten<sup>62</sup>. De meeste mensen hebben echter moeite met het inschatten van het gevaar van brand. De kennis en aannames over snelheid van de brand- en rookontwikkeling is vaak onjuist<sup>63</sup>, waardoor mensen zichzelf nog meer in gevaar brengen dan nodig is. Onder het *verplaatsingsvermogen* wordt de mate van mobiliteit verstaan. Zo kan er door een slechte conditie sprake zijn van een tijdelijk beperkt niveau of van een hulpbehoevend niveau wanneer mensen bedlegerig zijn of zich in een cel bevinden.

### *Sociale kenmerken*

De bepalende sociale kenmerken zijn de onderlinge sociale relatie tussen de aanwezigen, de mate van taakcommitment en de rol of de verantwoordelijkheid van de aanwezigen in het gebouw. Uit incidentevaluaties blijken mensen in geval van nood eerder geneigd om samen te werken in plaats van op individuele basis te handelen<sup>64</sup>. Wanneer sprake is van een sterke *onderlinge sociale relatie* tussen de aanwezigen, zoals bij familieleden, zullen mensen zolang als mogelijk proberen als groep te reageren<sup>65</sup>. Er is sprake van *taakcommitment* als mensen vasthouden aan rolpatronen of rolverwachtingen. Uit incidentevaluaties blijkt dat mensen bij onverwachte gebeurtenissen in eerste instantie vasthouden aan de rolverwachtingen die passen bij de functie van het gebouw waarin zij zich bevinden<sup>66</sup>. Deze rolverwachtingen beperken de

---

<sup>57</sup> Sime 1990; Proulx 2002; Auf der Heide 2004

<sup>58</sup> Sillem 2005

<sup>59</sup> Bandura 1989; Sillem 2005

<sup>60</sup> Bruck 2001

<sup>61</sup> Sandberg 1997

<sup>62</sup> Tong en Canter 1985

<sup>63</sup> Proulx 1997; Proulx 2001b; Purser en Bensilum 2001

<sup>64</sup> Cornwell 2003; SFPE 2002; Purser en Bensilum 2001; Proulx 2007; Galea e.a. 2007

<sup>65</sup> Sandberg 1997

<sup>66</sup> Donald en Canter 1990; Johnson 2005; Pires 2005

herkenning van gevaar en vergroten de verwerkingstijd van de informatie over het brandgevaar<sup>67</sup>. Zo zijn mensen veelal geneigd eerst de activiteit waarmee zij bezig zijn af te ronden voordat zij de ontvluchting starten<sup>68</sup>. Verder blijken mensen die vanwege hun *rol of functie* verantwoordelijk zijn voor de organisatie in een gebouw, zoals serveersters en afdelingsmanagers, geneigd om deze verantwoordelijkheid ook tijdens een noodsituatie op zich te nemen<sup>69</sup>. Een bijzondere rol of verantwoordelijkheid is die van de bhv'er. Een goede opleiding en training van een bhv-organisatie blijkt een positieve invloed te hebben op de snelheid van ontvluchting<sup>70</sup> en op het gebruik van nooduitgangen<sup>71</sup>.

### *Persoonsgebonden situatiekenmerken*

De bepalende persoonsgebonden situatiekenmerken zijn de opmerkzaamheid, de fysieke positie (passief of in beweging) en de bekendheid met de lay-out. De belangrijkste indicator voor *opmerkzaamheid* is het feit of mensen slapend of wakker zijn<sup>72</sup>. Mensen die slapen hebben een bijzonder laag niveau van opmerkzaamheid over wat er in de directe omgeving gebeurt. Verder zal de opmerkzaamheid negatief beïnvloed worden als gevolg van het gebruik van alcohol, drugs of medicijnen. Als het gaat om de fysieke positie, dan blijkt dat mensen die liggen of zitten minder snel geneigd zijn een ruimte te verlaten dan mensen die al staan of lopen<sup>73</sup>. De informatie over de invloed van de *bekendheid met de lay-out* is enigszins diffuus. Zo is bekend dat mensen doorgaans de route nemen waarmee zij bekend zijn<sup>74</sup>. Persoonlijke ervaringen kunnen ervoor zorgen dat iemand erg bekend is met het gebouw. Ze kunnen echter ook leiden tot selectieve kennis van het gebouw, waardoor alternatieve vluchtroutes genegeerd worden. Verder kan de bekendheid met het gebouw ertoe leiden dat mensen pas erg laat beginnen te vluchten omdat zij zich minder bedreigd voelen door de brand<sup>75</sup>. Ook blijkt dat mensen die bekend zijn met de omgeving, zoals de eigen woning, eerder geneigd zijn door rook te lopen dan wanneer zij niet bekend zijn met de lay-out van het gebouw<sup>76</sup>.

---

<sup>67</sup> Pires 2005

<sup>68</sup> Graham en Roberts 2001

<sup>69</sup> Sandberg 1997; Proulx 2007; Galea e.a. 2007

<sup>70</sup> Sime 1991; Sandberg 1997; Purser en Bensilum 2001

<sup>71</sup> Graham en Roberts 2000; Johnson 2005

<sup>72</sup> Sandberg 1997

<sup>73</sup> Sandberg 1997

<sup>74</sup> Sandberg 1997

<sup>75</sup> Tong en Canter 1985

<sup>76</sup> Frantzich 1994

## 4.4 Operationalisatie van de kritische factoren voor vluchtveiligheid

### Mate van vluchtveiligheid

De factoren uit het theoretisch model (zie figuur 2) zijn op basis van de literatuur geoperationaliseerd. Dat betekent dat de factoren in meetbare termen zijn gedefinieerd. Daarbij is vastgesteld in welke mate de factoren van invloed zijn op de vluchtveiligheid. De invloeden van de drie typen kenmerken op de mate van vluchtveiligheid zijn bepaald op basis van de resultaten uit een literatuuronderzoek<sup>77</sup>. De literatuur geeft maar in zeer beperkt inzicht in de mate waarin de kenmerken van invloed zijn. Daarom is het resultaat, namelijk de mate van vluchtveiligheid, als een kwalitatieve eenheid geformuleerd en niet in een kwantitatieve (rekenkundige) eenheid. De mate van vluchtveiligheid is opgedeeld in vier kwaliteitsniveaus:

- Hoog: Dit betekent dat de toestand van een factor leidt tot een goed (of beter) niveau van vluchtveiligheid.
- Neutraal: Dit betekent dat de toestand van een factor geen effect heeft op de mate van vluchtveiligheid.
- Laag: Dit betekent dat de toestand van een factor leidt tot een slecht(er) niveau van vluchtveiligheid.
- Onbekend: Dit betekent dat het effect van de toestand van een factor niet duidelijk uit de literatuur is gebleken.

### Operationalisatie van de brandkenmerken

De invloeden van de brandkenmerken op de mate van vluchtveiligheid zijn in tabel 2 samengevat.

Factor	Toestand van factor	Mate van vluchtveiligheid
Waarneembare kenmerken	Waarneembaar	Neutraal
	Niet waarneembaar	Laag
Snelheid van brandontwikkeling	Langzaam	Hoog
	Snel	Laag
Rookdichtheid	Laag	Hoog
	Hoog	Laag
Toxiciteit	Laag	Hoog
	Hoog	Laag
Hitte	Laag	Hoog
	Gemiddeld	Hoog
	Hoog	Laag

Tabel 2: Invloed van brandkenmerken op vluchtveiligheid.

---

<sup>77</sup> Kobes 2008a

### *Waarneembare kenmerken*

Wanneer een brand waargenomen kan worden zullen mensen beter in staat zijn om op adequate wijze op de brand te reageren, waardoor de mate van zelfredzaamheid verbetert. Een hoge mate van zelfredzaamheid heeft een positief effect op de vluchtveiligheid. Dit betekent ook dat de mate van vluchtveiligheid laag is wanneer signalen van brand niet waarneembaar zijn. Hoewel de aanname is dat een goede waarneembaarheid van brandsignalen leidt tot een hoge mate van vluchtveiligheid, is uit diverse incidenten naar voren gekomen dat mensen nauwelijks of inadequaat reageren op deze waarneembare signalen.

### *Snelheid van brandontwikkeling*

Bij een snelle brandontwikkeling is er weinig tijd beschikbaar voor een succesvolle ontvluchting. Daarom zal een snelle brandontwikkeling resulteren in een lage mate van vluchtveiligheid.

### *Rookdichtheid*

Een hoge rookdichtheid heeft een negatief effect op de vluchtveiligheid, onder andere doordat rook het zicht belemmert.

### *Hitte*

De hitte van een brand kan de aanleiding zijn om te starten met de ontvluchting. Een gemiddelde en voor de mens fysiek toelaatbare hitte heeft daarom een positief effect op de vluchtveiligheid.

### **Operationalisatie van de gebouwkenmerken**

De invloeden van de brandkenmerken op de mate van vluchtveiligheid zijn in tabellen 3 en 4 samengevat.

<b>Factor</b>	<b>Toestand van factor</b>	<b>Mate van vluchtveiligheid</b>
Focuspunt	Niet aanwezig	Neutraal
	Aanwezig en gebruikt voor ontruimingsinstructies	Hoog
	Aanwezig en activiteit of voorstelling blijft doorgaan	Laag
Bezettingsdichtheid	Laag	Onbekend
	Hoog	Laag
Gemak van wayfinding	Hoog	Hoog
	Laag	Laag
Bedrijfshulpverlening (bhv)	Aanwezig en adequaat	Hoog
	Niet aanwezig / inadequaat	Laag
Handhaving	Adequaat	Hoog

	Inadequaaf	Laag
--	------------	------

Tabel 3: Invloed van situationele gebouwkenmerken op vluchtveiligheid.

Factor	Toestand van factor	Mate van vluchtveiligheid
Lay-out: vluchtrouteaanduiding	Aanwezig / niet aanwezig	Onbekend
	Hoge attentiewaarde	Onbekend
	Lage attentiewaarde	Laag
Lay-out: nooduitgang	Ingang / normale uitgang	Hoog
	Nooduitgang	Laag
	Afgesloten (i.v.m. voorkomen van oneigenlijk gebruik)	Laag
Lay-out: vluchtroute	Rookvrij	Hoog
	Niet rookvrij	Laag
	Toegankelijk	Hoog
	Geblokkeerd (door opslag)	Laag
Installaties: brandalarm	Slow-whoopsignaal	Neutraal
	Gesproken bericht	Hoog
	Niet aanwezig	Laag
Installaties: noodverlichting	Aanwezig en functionerend	Onbekend
	Niet aanwezig / niet functionerend	Onbekend
Installaties: sprinkler systeem	Aanwezig en functionerend	Hoog
	Niet aanwezig / niet functionerend	Neutraal
Installaties: rook- en warmte afvoersysteem	Aanwezig en functionerend	Hoog
	Niet aanwezig / niet functionerend	Laag
Installaties: brandslanghaspels	Aanwezig en functionerend	Neutraal
	Niet aanwezig / niet functionerend	Laag
Materialen: brandbaarheid	Onbrandbaar	Hoog
	Brandbaar	Laag
Materialen: toxiciteit	Niet-toxisch	Hoog
	Toxisch	Laag
Compartimentering (voor mensen buiten het compartiment waarin de brand is)	Aanwezig en functionerend	Hoog
	Niet aanwezig / niet functionerend	Laag
Omvang van het gebouw	Klein / Groot	Onbekend

Tabel 4: Invloed van technische gebouwkenmerken op vluchtveiligheid.

Nooduitgangen zijn, net als de vluchtrouteaanduidingen en de uitvoering van de vluchtroutes (zoals gangen), onderdeel van de lay-out van een gebouw. Op basis van de literatuur is de aanname dat een evacuatie die zo gepland (of berekend) is, dat via nooduitgangen zal worden gevluht, zal resulteren in een lage mate van vluchtveiligheid. Dit komt doordat mensen doorgaans via bekende uitgangen vluchten en nauwelijks via nooduitgangen vluchten<sup>78</sup>. Wanneer de evacuatie uitsluitend via normale uitgangen is gepland, de uitgangen die mensen ook in normale situaties gebruiken, zullen mensen bekend zijn met deze uitgangen en ze bij brand intuïtief gebruiken. Een gebouw waarin de evacuatie via normale uitgangen is gepland zal resulteren in een hoge mate van vluchtveiligheid.

### Operationalisatie van de menskenmerken

Factor	Toestand van factor	Mate van vluchtveiligheid
Profiel: geslacht	Man / vrouw	Onbekend
Profiel: leeftijd	Oud / middelbaar / jong	Onbekend
Karakter: leiderschap	Leider	Hoog
	Volger	Neutraal
Karakter: immuniteit voor stress	Aanwezig / niet aanwezig	Onbekend
Karakter: geloof in eigen kunnen	Aanwezig / niet aanwezig	Onbekend
Kennis en ervaring	Aanwezig	Hoog
	Niet aanwezig	Laag
Waarnemingsvermogen	Goed	Hoog
	Slecht	Laag
Beoordelingsvermogen	Goed	Hoog
	Slecht	Laag
Verplaatsingsvermogen	Goed	Hoog
	Slecht	Laag
Onderlinge sociale relatie	Individueel	Hoog
	Groep	Laag
Taakcommitment	Zwak	Hoog
	Sterk	Laag
Rol / verantwoordelijkheid	Verantwoordelijke positie	Hoog
	Gast	Laag
Opmerkzaamheid	Hoog (wakker)	Hoog
	Laag (slapend / onder invloed)	Laag
Fysieke positie	Actief	Hoog
	Passief	Laag

<sup>78</sup> Benthorn & Frantzich 1996; Sime 1983; Sandberg 1997; Graham & Roberts 2000



Bekendheid met lay-out	Bekend	Laag *
	Niet bekend	Onbekend

\* Gebaseerd op de analyse van de brand in voetbalstadion Euroborg (zie paragraaf 5.4)

Tabel 5: Invloed van menskenmerken op vluchtveiligheid.

### *Waarneming, beoordeling en verplaatsing*

De eerste fase van een brandevacuatie bestaat uit het waarnemen van brandsignalen. Wanneer de aanwezigen in een gebouw een goed waarnemingsvermogen hebben zijn zij in staat om de brand te ontdekken. Een goed waarnemingsvermogen leidt daarmee tot een hoge mate van vluchtveiligheid. De tweede fase van een brandevacuatie bestaat uit het interpreteren van signalen en uit het nemen van beslissingen over wat te doen. Een goed beoordelingsvermogen leidt daarmee tot een hoge mate van vluchtveiligheid. De derde en laatste fase van een brandevacuatie bestaat uit de daadwerkelijke verplaatsing. Wanneer mensen mobiel zijn en in staat zijn om zicht zelfstandig te verplaatsen, kunnen zij naar een veilige omgeving vluchten. Een goed verplaatsingsvermogen leidt daarmee tot een hoge mate van vluchtveiligheid.

### *Onderlinge sociale relatie*

Een sterke onderlinge sociale relatie kan zowel een positief als negatief effect hebben op de vluchtveiligheid. Er is sprake van een positief effect wanneer mensen elkaar helpen bij de ontvluchten. Een negatief effect kan ontstaan wanneer mensen op elkaar wachten om samen te vluchten, of wanneer mensen teruggaan in een brandend pand om kwijtgeraakte vrienden of familieleden te zoeken.

### *Taakcommitment*

Een hoge mate van taakcommitment heeft een negatief effect op de vluchtveiligheid: wanneer mensen geneigd zijn om vast te houden aan de activiteit waarmee ze bezig zijn, zullen zij moeite hebben om naar een andere 'taak' te switchen, namelijk de taak om te vluchten.

### *Bekendheid met de lay-out*

De aanname is dat als mensen goed bekend zijn met de lay-out van een gebouw, dit een positief effect heeft op de vluchtveiligheid. Maar uit onderzoeken blijkt dat dit verband tussen een hoge mate van bekendheid en een hoge mate van vluchtveiligheid niet altijd aanwezig is. Een hoge mate van bekendheid met de lay-out kan er namelijk ook toe leiden dat mensen de uitgangen op de bekende route negeren en via de normale uitgangen vluchten. Als de normale uitgang niet de dichtstbijzijnde uitgang is, dan kan de bekendheid met de lay-out een negatief effect op de vluchtveiligheid hebben.

## 4.5 Toepassing in de praktijk van het analysemodel

### **Doel van het gebruik van het analysemodel vluchtveiligheid**

Het doel van het gebruik van het 'analysemodel vluchtveiligheid' is om op systematische wijze de kritische aspecten van vluchtveiligheid in een gebouw (of bouwwerk) te analyseren. Het model biedt een analysekader waarin alle aspecten die van invloed kunnen zijn op het menselijk gedrag bij brand aan de orde komen. Aspecten die een negatieve invloed hebben op de zelfredzaamheid bij brand kunnen vervolgens nader geanalyseerd worden. Verder is het mogelijk om aan de hand van de nadere analyse van de aspecten met een negatieve invloed aanbevelingen op te stellen voor de verbetering van de vluchtveiligheid in het gebouw(ontwerp).

### **Toepassingsgebied van het analysemodel vluchtveiligheid**

Het 'analysemodel vluchtveiligheid' kan gebruikt worden voor de systematische analyse van de kritische aspecten van vluchtveiligheid in:

- een nieuw te bouwen gebouw (fase van gebouwontwerp)
- een bestaand gebouw (fase van gebruik van een gebouw)
- een bestaand gebouw waarin brand is geweest (fase van brandevaluatie).

#### *Toepassing in de fase van gebouwontwerp*

Het 'analysemodel vluchtveiligheid' kan in deze fase gebruikt worden om de risico's op gebied van vluchtveiligheid te bepalen, uitgaande de kenmerken van het gebouwontwerp en van de te verwachten gebouwpopulatie. Verder kan het model gebruikt worden om de maatgevende brand- en vluchtscenario's te bepalen. Deze risico's en scenario's kunnen vervolgens, bijvoorbeeld in het kader van FSE, gebruikt worden om de benodigde brandveiligheidsvoorzieningen te bepalen.

#### *Toepassing in de fase van gebruik van een gebouw*

Het 'analysemodel vluchtveiligheid' kan in deze fase gebruikt worden om de situatie van vluchtveiligheid in een bestaand gebouw vast te stellen. Door de systematische analyse van de kritische aspecten van vluchtveiligheid komen alle aspecten die van invloed kunnen zijn op het menselijk gedrag bij brand aan de orde. Vervolgens kunnen op basis van de aspecten met een negatieve invloed op de vluchtveiligheid aanbevelingen gedaan worden voor de verbetering van de vluchtveiligheid in het gebouw.

#### *Toepassing in de fase van brandevaluatie*

Wanneer onverhoopt een brand is geweest in een bestaand gebouw, kan het 'analysemodel vluchtveiligheid' gebruikt worden om op systematische wijze de invloed van de gebouw-, brand- en menskenmerken op de mate van zelfredzaamheid (opnieuw) vast te stellen. Daarmee kunnen nieuwe data over brandveiligheidspsychonomie verzameld worden. Deze data zijn nodig om de nog niet bekende invloeden in het

huidige ‘analysemodel vluchtveiligheid’ vast te stellen. Wanneer het analysemodel veelvuldig in brandevaluaties (en praktijkexperimenten) wordt toegepast, zou het huidige kwalitatieve (analyse-)model omgezet kunnen worden in een kwantitatief (reken-)model. Daarnaast kunnen deze data op gebied van brandveiligheidspsychonomie toegepast worden in andere bestaande FSE-instrumenten, zoals in evacuatiesimulatie software, en is het bruikbaar voor de verdere ontwikkeling van FSE-instrumenten.

### *Beperkingen*

Het ‘analysemodel vluchtveiligheid’ kent twee beperkingen, waarmee bij de toepassing van het model rekening gehouden moet worden.

De eerste beperking van het analysemodel is dat niet alle eigenschappen op basis van de bestaande literatuur voorspeld kunnen worden. Zo is het vooralsnog niet mogelijk om de invloed van vluchtrouteaanduiding te voorspellen. Dit geldt ook voor de invloed van een noodverlichtingsstelsel, de omvang van het gebouw, een lage bezettingsdichtheid, de gebruikersprofielen (zoals leeftijd, geslacht en beroep), de persoonlijkheid van de aanwezigen (zoals de mate van stressbestendigheid) en de bekendheid met de lay-out.

De tweede beperking is dat het gebruik van het model resulteert in een kwalitatieve analyse. De resultaten van de kwantitatieve analyse is een objectieve vaststelling van de aan- of afwezigheid van de verschillende kritische factoren en de kwaliteit van de aanwezige kritische factoren, met een subjectieve bepaling van het effect van de afwezigheid van factoren en de kwaliteit van aanwezige factoren op de mate van vluchtveiligheid. De resultaten zijn daarmee niet uitgedrukt in objectieve en meetbare kansen en effecten van de verschillende kritische factoren op de mate van vluchtveiligheid. Daarnaast is de betrouwbaarheid van de kwalitatieve weging van de effecten van verschillende kritische factoren afhankelijk van de deskundigheid van de gebruiker van het model. Deze beperking geldt overigens ook voor de toepassing van kwantitatieve (reken-)modellen, aangezien daarbij de betrouwbaarheid van het resultaat ook sterk afhankelijk is van de deskundigheid van de gebruiker.

### **Stappenplan voor toepassing van het model**

Bij de toepassing van het model worden de volgende stappen doorlopen:

- Stap 1: Bepaal de toestand van de kritische factoren. Maak hierbij gebruik van de tabellen in hoofdstuk 4.
- Stap 2: Stel per kritische factor de mate van vluchtveiligheid vast.
- Stap 3: Analyseer welke alternatieven mogelijk zijn voor de kritische factoren die leiden tot een lage mate van vluchtveiligheid.
- Stap 4: Analyseer welke alternatieven, voortkomend uit stap 3, leiden tot een hoge mate van vluchtveiligheid en pas het meest geschikte alternatief in het gebouwontwerp toe.

Voorbeeld: Als er kunststoffen gebruikt worden voor de inrichting van het gebouw, denk aan gestoffeerd meubilair, dan is de toestand 'snel' te verwachten voor de kritische factor 'snelheid van brandontwikkeling' (stap 1). Uit onderzoek is bekend dat de mate van vluchtveiligheid laag is bij een snelle brandontwikkeling (stap 2). Om de snelheid van brandontwikkeling te beïnvloeden kan het gestoffeerd meubilair bijvoorbeeld brandvertragend worden uitgevoerd of kan een sprinklerinstallatie in het gebouw worden aangebracht (stap 3). Omdat in het gebouw veel mensen aanwezig zijn die niet gemakkelijk zelfstandig kunnen vluchten is de meest veilige oplossing gewenst. De sprinklerinstallatie is voor dit gebouwontwerp het meest geschikte alternatief (stap 4).

### **Verificatie: Gebruikstest middels een case study<sup>79</sup>**

De toepassing van het 'analysemodel vluchtveiligheid' is in de praktijk getoetst door het als analysekader te gebruiken bij de evaluatie van de brand in het voetbalstadion Euroborg (april 2008). Uit deze toets is naar voren gekomen dat de toepassing van het 'analysemodel vluchtveiligheid' resulteert in een systematische analyse. Verder geeft het een duidelijk overzicht van en inzicht in de invloed van verschillende aspecten van de zelfredzaamheid van aanwezigen in een gebouw bij een brand. De kennis is nodig voor het bepalen van beleid voor brandveiligheid en voor de uitvoering van Fire Safety Engineering (FSE).

Hoewel het voetbalstadion een gebouw is, kan gesteld worden dat het geen 'typisch' gebouw is. Zo is het voetbalstadion bijvoorbeeld geen besloten ruimte, waardoor het brandverloop, de rookverspreiding, de wayfinding en andere gedragsaspecten mogelijk anders is dan in een besloten ruimte. Toch is uit de brandevaluatie naar voren gekomen dat de voorspellingen in het model, dat geënt is op onderzoek naar zelfredzaamheid bij brand in gebouwen, overeenkomen met de factoren die een rol hebben gespeeld bij de ontvluchting van de brand in het voetbalstadion. De invloed van de persoonlijkheid van de aanwezigen, de onderlinge sociale relaties (welke supporters hoorden bij elkaar?), de alertheid (waren supporters wel of niet onder invloed van drank of drugs?) en de fysieke positie (sommige supporters stonden en anderen zaten) kon in de betreffende brandevaluatie niet vastgesteld worden vanwege onvoldoende onderzoeksgegevens. Dit is overigens geen indicatie dat de voorspellingen in het 'analysemodel vluchtveiligheid' incorrect zijn.

---

<sup>79</sup> Gepubliceerd als Kobes M, Oberijé N, Post J, Weges J. Fire response performance model for a systematic analysis of evacuation safety in buildings – A case study of a fire in a football stadium, in: Proceedings of the 12th International Fire Science & Engineering Conference, Interflam 2010. Interscience Communications, London, 2010; 861–872.

## 4.6 Bronnen

- Auf der Heide E. Common misconceptions about disasters: Panic, the “disaster syndrome,” and looting; in: O’Leary M. *The First 72 Hours: A Community Approach to Disaster Preparedness*, Lincoln, Nebraska, 2004.
- Averill JD, Mileti DS, Peacock RD, Kuligowski ED, Groner N, Proulx G, Reneke PA, Nelson HE. Occupant Behavior, Egress, and Emergency Communications. NIST NCSTAR 1-7, Federal Building and Fire Safety Investigation of the World Trade Center Disaster, NIST, USA, 2005.
- Bandura A. Human Agency in Social Cognitive Theory. *American Psychologist* 1989; 44; 1175-1184.
- Benthorn L, Frantzich H. Fire alarm in a public building: How do people evaluate information and choose evacuation exit? Department of Fire Safety Engineering, Lund Institute of Technology, Lund University, Sweden, 1996.
- Black BD. Life safety, fire protection, and mobility-impaired persons. *Journal of Fire Protection Engineering* 2002; 16; 26-29.
- Blomqvist P. Emissions from fire. Consequences for human safety and the environment. Doctoral thesis. Lund University. Lund, Sweden, 2005.
- Boer LC. Gedrag van automobilisten bij evacuatie van een tunnel. TNO, Soesterberg, 2002.
- Boer LC. Praktijkproef geluidsbakens bij ontruiming tunnel in dichte rook. TNO, Soesterberg, 2003.
- Bruck D. The who, what, where and why of waking to fire alarms: A review. *Fire Safety Journal* 2001; 36; 623-639.
- Bryner N, Madrzykowski D, Grosshandler W. Reconstruction The Station Nightclub fire. Computer modeling of the fire growth and spread; in: *Interflam 2007, conference proceedings volume 2. 11th international fire science and engineering conference*. Interscience, London, 2007; 1181-1192.
- Bukowski RW. Protected elevators and the disabled. *Journal of Fire Protection Engineering* 2005; 28; 42-49.
- Chang C-H, Huang H-C. A water requirements estimation model for fire suppression: A study based on integrated uncertainty analysis. *Fire Technology* 2005; 41; 5-24.
- Cornwell B. Bonded fatalities: Relational and ecological dimensions of a fire evacuation. *The Sociological Quarterly* 2003; 44; 617-638.
- Donald I, Canter D. Behavioural aspects of the King's Cross Disaster, in: Canter D (Ed.), *Fires and human behaviour*. Second edition. David Fulton Publishers Ltd, London, 1990; 15-30.
- Fahy RF, Proulx G. Toward Creating a Database on Delay Times to Start Evacuation and Walking Speeds for Use in Evacuation Modelling. *2nd International Symposium on Human Behaviour in Fire*, Boston, 2001; 175-183.
- Frantzich H. A model for performance-based design of escape routes. Department of Fire Safety Engineering, Lund Institute of Technology, Lund University, Sweden, 1994.
- Galea ER, Sharp G, Lawrence PJ, Dixon A. Investigating the impact of occupant response time on computer simulations of the WTC North tower evacuation; in: *Interflam 2007, conference proceedings volume 2. 11th international fire science and engineering conference*. Interscience, London, 2007; 1435-1442.
- Gann RG. Estimating data for incapacitation of people by fire smoke. *Fire Technology* 2004; 40; 2; 201-207.
- Graham TL, Roberts DJ. Qualitative overview of some important factors affecting the egress of people in hotel fires. *Hospitality Management* 2000; 19; 79-87.

- Grosshandler W, Bryner N, Madrzykowski D, Kuntz K. Report of the Technical Investigation of The Station Nightclub Fire. NIST NCSTAR 2. U.S. Government Printing Office, Washington DC, 2005, vol. I, chapter 4.6.
- Gwynne S, Galea ER, Lawrence PJ, Filippidis L. Modelling occupant interaction with fire conditions using the building EXODUS evacuation model. *Fire Safety Journal* 2001; 36; 327–357.
- Irvine DJ, McCluskey JA, Robinson IM. Fire hazards and some common polymers: Review paper. *Polymer Degradation and Stability* 2000; 67; 383–396.
- ISO. Guidelines for assessing the fire threat to people. ISO/TS 19706: 2004.
- Isobe M, Helbing D, Nagatani T. Many-particle simulation of the evacuation process from a room without visibility. *Physical Review E* 2004; 69.
- Jin T. Visibility and Human Behavior in Fire Smoke, in: *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, 3rd Edition, National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2002.
- Johnson CW. Lessons from the evacuation of the world trade centre, 9/11 2001 for the development of computer-based simulations. *Cognition, Technology and Work*; 2005; 7; 214–240.
- Kobes M. Zelfredzaamheid bij brand; Kritische factoren voor het veilig vluchten uit gebouwen. Boom Juridische uitgevers, Den Haag, 2008.
- Kobes M, Oberijé N, Post J, Weges J. Fire response performance model for a systematic analysis of evacuation safety in buildings – A case study of a fire in a football stadium, in: *Proceedings of the 12th International Fire Science & Engineering Conference, Interflam 2010*. Interscience Communications, London, 2010; 861–872.
- Løvås GG. Models of wayfinding in emergency evacuations. Theory and methodology. *European Journal of Operational Research* 1998; 105; 371–389.
- Nagai R, Nagatani T, Isobe M, Adachi T. Effect of exit configuration on evacuation of a room without visibility. *Physica A* 2004; 343; 712–724.
- Ouellette MJ. Visibility of exit signs. *Progressive Architecture* 1993; 7; 39–42.
- Pires TT. An approach for modeling human cognitive behavior in evacuation models. *Fire Safety Journal* 2005; 40; 177–189.
- Proulx G, Laroche D. Study Shows Low Public Recognition of the Temporal-Three Evacuation Signal. *Construction Innovation* 2001; 6; 4; 1–6.
- Proulx G, Richardson JK. The Human factor: Building designers often forget how important the reactions of the human occupants are when they specify fire and life safety systems. *Canadian Consulting Engineer* 2002; 43; 35–36.
- Proulx G. A stress model for people facing a fire. *Journal of Environmental Psychology* 1993; 13; 137–147.
- Proulx G. Misconceptions about human behaviour in fire emergencies. *Canadian Consulting Engineer* 1997; 36–38.
- Proulx G. Why Building Occupants Ignore Fire Alarms. *Construction Technology Update* 42. IRC-NRCC, Ottawa, 2000.
- Proulx G (2001a). High rise Evacuation: A Questionable Concept; in: *Proceedings of the 2nd International Symposium on Human Behaviour in Fire 2001*. Interscience Communications, London, 2001; 221–230.
- Proulx G (2001b). Occupant behaviour and evacuation; in: *Proceedings of the 9th International Fire Protection Symposium, Munich, 2001*; 219–232.
- Proulx G. Cool under fire. *Fire Protection Engineering* 2002; 16; 33–35.
- Proulx G. Playing with fire: Understanding human behavior in burning buildings. *ASHRAE journal* 2003; 45; 33–35.
- Proulx G. High-rise office egress: the human factors; in: *Proceedings of Symposium on*

- High-Rise Building Egress Stairs. New York, 2007.
- Purser DA. Data benefits: fire prevention. *Fire engineers journal* 2003; 21-24.
  - Purser DA, Bensilum M. Quantification of behaviour for engineering design standards and escape time calculations. *Safety Science* 2001; 38; 157-182.
  - Raubal M, Egenhofer MJ. Comparing the complexity of way finding tasks in built environments. *Environment & Planning B* 1998; 25; 895-913.
  - Sandberg A. Unannounced evacuation of large retail-stores. An evaluation of human behaviour and the computer model Simulex. Lund University, Sweden, 1997.
  - SFPE. Engineering guide to human behaviour in fire. SFPE, 2002.
  - Sillem S. Een psychologisch perspectief op evacuatie uit gebouwen, in: Brand, R van der (Ed.), *Zelfredzaamheid en fysieke veiligheid van burgers: Verkenningen*. Nibra Publicatiereeks nr. 18. Nibra, Arnhem, 2005.
  - Sime JD. Affiliative behaviour during escape to building exits. *Journal of Environmental Psychology* 1983; 3; 21-41.
  - Sime JD. The concept of 'Panic'; in: Canter D (Ed.), *Fires and human behaviour*. Second edition. David Fulton Publishers Ltd, London, 1990, pp. 63-81.
  - Sime JD. Accidents and disasters: vulnerability in the built environment. *Safety Science* 1991; 14; 109-124.
  - Sime JD. Crowd psychology and engineering. *Safety Science* 1995; 21; 1-14.
  - Sime JD, An occupant response shelter escape time (ORSET) model. *Safety Science* 2001; 38; 109-125.
  - Tang D, Beattie K. Integrated prediction of fire, smoke and occupants' evacuation of buildings. Dublin Institute of Technology/IES Limited, 1997.
  - Tong D, Canter D. The decision to evacuate: a study of the motivations which contribute to evacuation in the event of fire. *Fire Safety Journal* 1985; 9; 257-265.
  - Tubbs JS. Developing trends from deadly fire incidents: A preliminary assessment. ARUP, Westborough, MA, 2004.
  - Verwey WB. Psychologische Functieleer en Cognitieve Ergonomie: een Siamese tweeling? *Tijdschrift voor Ergonomie* 2004; 29; 2; 4-9.
  - VROM. Brandveiligheid bij zorginstellingen. Beoordeling van brandveiligheidsvoorzieningen in dertig zorginstellingen. VROM-Inspectie, regio Noord-West, Haarlem, The Netherlands, 2004.
  - VROM. Onderzoek veiligheid bij overdekte speeltuinen. Beoordeling van de naleving van de VROM-regelgeving bij 30 overdekte speeltuinen. VROM-Inspectie, regio Noord-West, Haarlem, The Netherlands, 2006.
  - VROM. Onderzoek veiligheid hotels. Brandveiligheid en legionella-preventie van 12 hotels in Zuid-Holland en Zeeland. VROM-Inspectie, regio Zuid-West, Rotterdam, The Netherlands, 2007.
  - Weges JM. Brandveiligheidsscan aanmeldcentra voor asielzoekers. Netherlands Institute for Safety, NIFV/Nibra, Arnhem, The Netherlands, 2006a.
  - Weges JM. Uitvoering brandveiligheid dakconstructies van stalen damwandprofiel. Netherlands Institute for Safety, NIFV/Nibra, Arnhem, The Netherlands, 2006b.

Kom  
verder



# MODULE 3

## Hoofdstuk 5

Wet- en regelgeving

## Hoofdstuk 6

Normering en certificering

### Leerdoel:

Inzicht in de opbouw van de wet- en regelgeving met betrekking tot brandveiligheid in Nederland en de rol van normering en certificering hierin.



## 5. Brandveiligheid in publiekrechtelijke regelgeving

Auteurs:       ing. M.R. Leurink  
                  ir. B. Kersten

Dit thema behandelt de relevante wetgeving voor de brandveiligheid van bouwwerken en gebouwen. Hoewel brandveiligheid verder gaat dan alleen het wettelijk geregelde, vormt de wet- en regelgeving het toetskader voor bij voorbeeld de vergunningverlener. Dit toetskader is dus een belangrijk uitgangspunt.

Het doel van dit thema is om inzicht te geven in hoe de publiekrechtelijke doelen van persoonlijke veiligheid en schadebeperking aan buurpercelen en openbare ruimte in concrete toetsbare eisen worden vertaald. Daarbij wordt aangegeven waar te vinden is aan welke eisen een gebouw of object moet voldoen.

Het thema is als volgt opgebouwd:

- introductie;
- opbouw wet- en regelgeving;
- de vergunning;
- de woningwet en het bouwbesluit;
- overige wetten brandveiligheid;
- certificering.

### 5.1 Inleiding

Om te garanderen dat een gebouw zowel in het ontwerp als in het gebruik voldoende brandveilig is, is er in Nederland uitgebreide wet- en regelgeving op het gebied van brandveiligheid. In deze regelgeving is voorgeschreven aan welke eisen een gebouw minimaal moet voldoen om voldoende brandveilig te zijn in het gebruik en in het ontwerp.

Deze regels zijn echter niet in één enkele wet opgenomen. Voor verschillende onderwerpen (zoals bouwen of het aanvragen van vergunningen) zijn verschillende wetten gemaakt. In de praktijk is het van belang om enige kennis te hebben wat in welke wet staat en wat de onderlinge samenhang is tussen de wetten.

Deze wetten en de bijbehorende voorschriften in AMvB's (Algemene Maatregelen van Bestuur) worden publiekrechtelijke regelgeving genoemd. Dat houdt in dat hieraan ten alle tijden moet worden voldaan, ongeacht het contract tussen opdrachtgever en aannemer. De publiekrechtelijke regelgeving is erop gericht om persoonlijke veiligheid

(van gebouwgebruikers, hulpverleners, etc.) te garanderen en de buurpercelen en openbare ruimte te vrijwaren van schade.

## 5.2 Opbouw wet- en regelgeving

Zoals aangegeven zijn er verschillende wetten die over brandveiligheid gaan. Voor de bouw is de meest relevante wet de Woningwet met het bijbehorende Bouwbesluit. Het Bouwbesluit schrijft voor aan welke eisen een gebouw ten minste moet voldoen om voldoende brandveilig te zijn.

Naast de Woningwet zijn ook in de Wet Veiligheidsregio's, de Arbowet en de Wet Milieubeheer bepalingen op het gebied van brandveiligheid opgenomen. De relevantie van deze wetten hangt af van het type gebouw en waarvoor het gebruikt wordt (bijvoorbeeld een kantoorgebouw of een opslaghal voor autobanden).

### Vergunning

Het bouwen van een gebouw moet volgens de Woningwet in overeenstemming zijn met de nieuwbouwvoorschriften zoals vastgelegd in het Bouwbesluit. Dit geldt ook voor onderdelen waarvoor geen bouwvergunning nodig is.

Om te controleren of er gebouwd wordt in overeenstemming met de voorschriften wordt het plan getoetst en als het plan voldoet aan onder meer de bouwkundige en installatie-technische brandpreventie-eisen wordt er een vergunning voor de activiteit bouwen afgegeven. De prestatie-eisen zoals vastgelegd in het Bouwbesluit zijn daarbij maatgevend. Door de gemeente wordt getoetst of het aannemelijk is dat het plan voldoet aan deze eisen. Er hoeft dus geen 100% toetsing plaats te vinden. In veel gevallen is dat ook ten tijde van de vergunningsaanvraag niet mogelijk, omdat een plan op dat moment nog niet volledig is uitgedetailleerd. De vergunninghouder is er uiteindelijk zelf verantwoordelijk voor dat het gebouw uiteindelijk voldoet aan de gestelde eisen. Een vergunning kan niet worden geweigerd als het bouwplan voldoet aan het gestelde in het Bouwbesluit (en verder ook niet in strijd is met de overige voorschriften van de gemeentelijke bouwverordening en het bestemmingsplan). Wijzigingen van bouwkundige brandveiligheidsvoorzieningen (zoals het veranderen van de compartimentering) zijn in de regel vergunningsplichtig.

In de Ministeriele regeling omgevingsrecht (Mor) staat welke plangegevens bij een aanvraag van een omgevingsvergunning Bouwen overlegd moeten worden. Een niet-volledige aanvraag wordt niet in behandeling genomen, tenzij de gemeente aangeeft dat ontbrekende gegevens achterwege kunnen blijven of later verstrekt kunnen worden.

Tot de basisinformatie die op de tekeningen bij de aanvraag omgevingsvergunning bouwen moet zijn aangegeven, behoren:

- de afmetingen van het perceel, het bouwwerk en de situering;
- een opgave van de bruto inhoud, de bruto vloeroppervlakte van het gebouw;
- de bestemming van het gebouw (gebruiksfuncties en eventueel subgebruiksfuncties) en de daarmee corresponderende oppervlakte;
- de functie van elke ruimte (termen volgens Bouwbesluit: verblijfsgebied, verblijfsruimte, functiegebied, functieruimte, technische ruimte e.d.);
- aantal personen per ruimte en vluchtroute
- tekeningen (plattegronden, gevels, doorsneden en details) voorzien van maatvoering.

Ten aanzien van brandveiligheid moeten ter aanvulling hierop onder andere zijn aangegeven de:

- bereikbaarheid van het gebouw, de plaats van bluswatervoorzieningen en opstelplaatsen voor brandweervoertuigen (bij een groot perceel);
- brandgedrag van toegepaste materialen;
- (sub)brandcompartimentering (met vermelding van de WBDBO: 20, 30 of 60 minuten);
- brandwerendheid van de bouwconstructie;
- draairichting van beweegbare constructieonderdelen (in relatie tot de vluchtrichting);
- gelijkwaardigheid (tekeningen en/of berekeningen).

Ten aanzien van installatiecomponenten moeten zijn aangegeven de:

- plaats van(droge) blusleidingen en aansluitpunten;
- plaats van brandslanghaspels;
- brandweerlift(en);
- vluchtrouteaanduidingen;
- nood- en transparantverlichting.

### **De Woningwet en het Bouwbesluit**

De kern van de Nederlandse bouwregelgeving is vastgelegd in de Woningwet. In deze wet zijn de algemene wetteksten weergegeven. Er is dus in de Woningwet niet aangegeven aan welke eisen een gebouw precies moet voldoen. Wel is aangegeven waar deze eisen te vinden zijn en wat onder een gebouw of een bouwconstructie wordt verstaan. De Woningwet gaat dus in op de algemene wettelijke regeling en niet op de details. De specifieke eisen die aan een gebouw worden gesteld zijn vastgelegd in het Bouwbesluit. Dit besluit wordt via een Algemene Maatregel van Bestuur vanuit de Woningwet aangestuurd en men is dus verplicht het Bouwbesluit te volgen.

In het Bouwbesluit is aangegeven wat de minimale kwaliteitseisen moeten zijn waar elk gebouw in Nederland aan moet voldoen. In het Bouwbesluit is bijvoorbeeld aangegeven hoe groot een brandcompartiment maximaal mag zijn en hoe breed een trap minimaal

moet zijn. Het Bouwbesluit bevat niet alleen eisen met betrekking tot bouwkundige brandveiligheid. Ook andere aspecten als gezondheid, bruikbaarheid en energiezuinigheid zijn opgenomen in het Bouwbesluit. Tevens zijn de belangrijkste eisen voor het veilig gebruiken van een bouwwerk in het Bouwbesluit weergegeven. Tot 2012 waren deze eisen nog opgenomen in het afzonderlijke Gebruiksbesluit.

### *Gebruiksfuncties*

Het Bouwbesluit stelt uiteraard niet voor elk gebouw dezelfde eisen. Voor een industriegebouw worden bijvoorbeeld andere eisen gesteld dan aan een woongebouw. Om dit onderscheid te kunnen maken kent het Bouwbesluit verschillende gebruiksfuncties. Deze functies zijn de volgende:

- woonfunctie;
- bijeenkomstfunctie;
- celfunctie;
- gezondheidszorgfunctie;
- industriefunctie;
- kantoorfunctie;
- logiesfunctie;
- onderwijsfunctie;
- sportfunctie;
- winkelfunctie;
- overige gebruiksfunctie;
- bouwwerk geen gebouw zijnde.

Binnen deze functies kan ook nog sprake zijn van subgebruiksfuncties. Voorbeeld hiervan zijn de subgebruiksfuncties voor de woonfunctie:

- woonwagen;
- woonfunctie voor kamergewijze verhuur;
- woonfunctie voor zorg;
- woonfunctie in een woongebouw.

Binnen een gebouw kunnen meerdere gebruiksfuncties aanwezig zijn. Een kantoorgebouw bijvoorbeeld zal kantoorfuncties bevatten maar een kantine binnen dit gebouw zal als bijeenkomstfunctie worden aangemerkt terwijl een archief weer als overige gebruiksfunctie kan worden aangeduid. In principe is een aanvrager van een vergunning vrij om zelf de gebruiksfunctie te kiezen, maar het is logisch dat dit wel overeen moet komen met het beoogde gebruik van het gebouw.

Bij gebouwen die zijn opgedeeld in meerdere gebruiksfuncties zal veelal sprake zijn van ruimten die worden gebruikt door meerdere functies. Een voorbeeld hiervan zijn verkeersruimten die zowel worden gebruikt voor de ontsluiting van kantoorfuncties als van bijeenkomstfuncties. Omdat het Bouwbesluit voor verschillende gebruiksfuncties

verschillende eisen kan stellen, zal in dat soort gevallen moeten worden uitgegaan van de zwaarste eisen. Wordt een trappenhuis bijvoorbeeld gebruikt als vluchtroute vanuit zowel kantoren als woningen, dan zijn de eisen die worden gesteld aan het brandgedrag van de materialen in dit trappenhuis voor de woonfunctie maatgevend en zal het trappenhuis aan deze voorwaarden moeten voldoen.

#### *Opbouw Bouwbesluit*

Het Bouwbesluit is opgedeeld in verschillende afdelingen die elk een specifiek doel hebben. In het begin van elke afdeling is dit doel aangegeven via een zogenaamde functionele eis. Deze eis is opgenomen in het eerste lid van het aansturingsartikel van de betreffende afdeling. Dit artikel geeft aan wat het Bouwbesluit wil bereiken met het betreffende artikel. Zo is de functionele eis voor afdeling 2.12 (vluchtroutes) het volgende: "Een te bouwen bouwwerk heeft zodanige vluchtroutes dat bij brand een veilige plaats kan worden bereikt.". In het tweede lid van het aansturingsartikel wordt verwezen naar een tabel. In deze tabel wordt voor elke (sub)gebruiksfunctie aangegeven aan welke prestatie-eisen van de afdeling moet worden voldaan. Deze prestatie-eisen betreffen concrete eisen waarmee de beoogde doelstelling zoals verwoord in de functionele eis kan worden behaald. In de eerder genoemde afdeling 2.12 is bijvoorbeeld beschreven hoe lang loopafstanden mogen zijn en welke eisen er gesteld worden aan de status van vluchtroutes. Indien aan al deze prestatie-eisen wordt voldaan, wordt automatisch voldaan aan de functionele eisen.

Soms bevat een afdeling voor een bepaalde gebruiksfunctie geen prestatie-eisen. Dit betekent echter niet automatisch dat dan helemaal geen eisen worden gesteld. De functionele eis uit het eerste lid van het aansturingsartikel blijft namelijk in veel gevallen wel degelijk van toepassing. Alleen indien het aansturingsartikel een derde lid bevat waarin is aangegeven dat bij afwezigheid van prestatie-eisen ook de functionele eis vervalt, vervalt de gehele afdeling. Bij de eisen voor brandveiligheid ontbreekt echter vaak dit derde lid en blijft de functionele eis van toepassing. In dat geval zal een aanvrager zelf moeten aangeven op welke wijze aan de functionele eis wordt voldaan.

## AFDELING 2.13 HULPVERLENING BIJ BRAND

Functionele eis

### § 2.13.1 Nieuwbouw

#### Artikel 2.119 Aansturingsartikel

1. Een te bouwen bouwwerk is zodanig dat hulpverlening binnen redelijke tijd personen kan redden en brand kan bestrijden.
2. Voor zover voor een gebruiksfunctie in tabel 2.119 voorschriften zijn aangewezen, wordt voor die gebruiksfunctie aan de in het eerste lid gestelde eis voldaan door toepassing van die voorschriften.

Tabel 2.119

gebruiksfunctie	leden van toepassing					
	brandweerlift		loopplafond		hulploost	werkbouw
artikel	2.120	2.121	2.121	2.122	2.123	2.124
lid	1	2	1	2	*	*
1 Woonfunctie	1	2	1	2	*	*
2 Bijeenkomstfunctie	1	-	1	2	-	*
3 Celfunctie	1	-	1	2	-	*
4 Gezondheidszorgfunctie	1	-	1	2	-	*
5 Industriefunctie	1	-	1	2	-	*
6 Kantoorfunctie	1	-	1	2	-	*
7 Logiesfunctie	1	-	1	2	-	*
8 Onderwijsfunctie	1	-	1	2	-	*
9 Sportfunctie	1	-	1	2	-	*
10 Winkelfunctie	1	-	1	2	-	*
11 Overige gebruiksfunctie	-	-	-	-	-	-
12 Bouwwerk geen gebouw zijnde						
a. wegtunnel met een tunnellengte van meer dan 250 m	-	-	-	-	*	-
b. ander bouwwerk geen gebouw zijnde	-	-	-	-	-	-

Het derde lid ontbreekt hier. Daarom geldt de functionele eis hier ook voor bijvoorbeeld een overige gebruiksfunctie

Prestatie-eisen

#### Artikel 2.120 Brandweerlift

1. Vanaf een liftoegang van een brandweerlift is vanaf een verdieping de liftoegang op de verdieping daarboven bereikbaar via een extra beschermde vluchtroute.
2. Een uitgang van een woonfunctie grenst niet aan een in het eerste lid bedoelde extra beschermde vluchtroute voor zover die voert door een ruimte die direct grenst aan de liftoegang.

### Gelijkwaardigheid

Voor veel soorten gebouwen kunnen de prestatie-eisen van het Bouwbesluit goed worden toegepast. Er zijn echter ook gebouwen waarvoor de prestatie-eisen niet goed geschikt zijn of waarbij het helemaal niet nodig is om aan deze eisen te voldoen om wel een voldoende veilig gebouw te realiseren. Om dit soort gebouwen mogelijk te maken biedt het Bouwbesluit de mogelijkheid om een beroep op gelijkwaardigheid te doen.

Bij een beroep op gelijkwaardigheid wordt afgeweken van de prestatie-eisen maar wordt wel voldaan aan de functionele eis. Dat betekent dat aangetoond zal moeten worden dat op een andere wijze alsnog hetzelfde doelniveau wordt behaald.

Een voorbeeld van een aspect waarvoor vaak gelijkwaardige oplossingen worden toegepast zijn de afmetingen van een brandcompartiment. Volgens artikel 2.81 van het Bouwbesluit geldt de volgende functionele eis:

“Een te bouwen bouwwerk is zodanig dat de kans op een snelle uitbreiding van brand voldoende wordt beperkt”.

Om hieraan te voldoen moet volgens de prestatie-eisen een gebouw worden ingedeeld in brandcompartimenten met een maximale vloeroppervlakte van 1.000 m<sup>2</sup> en een weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag van minimaal 60 minuten tussen deze brandcompartimenten (deze eisen gelden voor de meeste gebruiksfuncties).

Het beperken van de omvang van een brand is echter ook mogelijk met bijvoorbeeld een sprinklerinstallatie. Bij een beginnende brand zal deze automatisch worden geactiveerd en ervoor zorgen dat de brand niet verder groeit. Een indeling in brandcompartimenten van maximaal 1.000 m<sup>2</sup> is dan niet meer nodig om de brand beheersbaar te houden. Het aanbrengen van een sprinklerinstallatie kan dus als een gelijkwaardige oplossing worden beschouwd voor het indelen in brandcompartimenten.

Bij een beroep op gelijkwaardigheid is de aanvrager vrij om te motiveren waarom hij van mening is dat sprake is van een gelijkwaardige oplossing. Het uiteindelijk oordeel wordt echter gegeven door de gemeente. Indien zij van mening zijn dat er geen sprake is van een gelijkwaardige oplossing, zullen zij dit moeten motiveren.

Voor veel voorkomende gelijkwaardige oplossingen zijn verschillende documenten beschikbaar aan de hand waarvan kan worden bepaald of de situatie gelijkwaardig is. Deze documenten hebben echter geen wettelijke status en een aanvrager kan hieraan geen rechten ontleen. Andersom kan een gemeente niet eisen dat bij een beroep op gelijkwaardigheid een bepaald document of richtlijn wordt gevolgd. Het afwijzen van een gelijkwaardige oplossing door te stellen dat een bepaald concept niet is gevolgd mag dus niet.

#### *Nieuwbouw en bestaande bouw*

Het Bouwbesluit stelt voor bestaande gebouwen andere eisen dan voor nieuwe gebouwen. Het is immers niet realistisch om voor een gebouw van 100 jaar oud dezelfde eisen te stellen als voor een nieuw gebouw. Daarnaast kunnen de nieuwbouweisen veranderen en het is ondoenlijk om dan alle bestaande gebouwen hierop aan te passen. Voor dit gebouw van 100 jaar oud geldt als absolute ondergrens de eisen voor bestaande bouw. Alle bestaande gebouwen zullen aan deze minimale eisen moeten voldoen. Indien niet aan deze eisen wordt voldaan, is een gebouweigenaar volgens de Woningwet verplicht de gebreken te herstellen. De verantwoordelijkheid ligt hierbij expliciet bij de eigenaar en niet bij de overheid. Een eigenaar kan dus niet gewoon

afwachten tot de gemeente een keer een inspectie komt uitvoeren. Indien bij een dergelijke inspectie blijkt dat niet aan de eisen voor bestaande bouw wordt voldaan, is de gemeente bevoegd om direct sancties te treffen.

Voor nieuw te bouwen gebouwen gelden uiteraard de nieuwbouweisen van het Bouwbesluit. Indien een bestaand gebouw wordt verbouwd zijn in principe de nieuwbouweisen eveneens toepassing. Dit geldt echter niet indien bij een bepaalde afdeling specifieke eisen voor verbouw zijn opgenomen. Voor de brandveiligheidseisen is dit veelal het geval en wordt voor verbouw verwezen naar het zogenaamde rechtens verkregen niveau. Dit niveau is als volgt gedefinieerd:

*Het niveau dat het gevolg is van de toepassing op enig moment van de relevante op dat moment van toepassing zijnde technische voorschriften en dat niet lager ligt dan het niveau van de desbetreffende voorschriften voor een bestaand bouwwerk en niet hoger dan het niveau van de desbetreffende voorschriften voor een te bouwen bouwwerk.*

Populair gezegd komt dit erop neer dat de kwaliteit van een gebouw niet mag afnemen bij de verbouwing, tenzij na de verbouwing nog steeds aan de nieuwbouweisen wordt voldaan. Een bestaand brandcompartiment van 800 m<sup>2</sup> mag bijvoorbeeld wel worden vergroot tot 900 m<sup>2</sup>, omdat volgens de nieuwbouweisen compartimenten tot 1.000 m<sup>2</sup> zijn toegestaan. Het vergroten van een compartiment van 1.300 m<sup>2</sup> tot 1.400 m<sup>2</sup> is echter niet zomaar toegestaan, ook al ligt de grens voor bestaande brandcompartimenten bij 2.000 m<sup>2</sup>. Het rechtens verkregen niveau is in dit geval namelijk een oppervlakte van 1.300 m<sup>2</sup>.

### *Brandveilig gebruik*

Naast de veelal bouwkundige eisen die het Bouwbesluit stelt, zijn sinds 2012 ook gebruikseisen opgenomen in het Bouwbesluit. Voor 2012 waren deze opgenomen in het Gebruiksbesluit.

De gebruikseisen betreffen onder meer eisen aan brandbeveiligingsinstallaties maar ook eisen aan inrichting, bereikbaarheid voor hulpdiensten en opslag van gevaarlijke stoffen.

Zodra een gebouw in gebruik wordt genomen moet aan de gebruikseisen worden voldaan. Voor veel gebouwen zal een gebruiksmelding moeten worden gedaan. Deze gebruiksmelding is nodig indien sprake is van één van onderstaande voorwaarden:

- bij een beroep op gelijkwaardigheid op het gebied van installaties of gebruik (hoofdstuk 6 of 7 van het Bouwbesluit);
- wanneer meer dan 50 personen tegelijk in een bouwwerk aanwezig kunnen zijn;
- bij een woonfunctie met kamergewijze verhuur.

Met de gebruiksmelding wordt de gemeente geïnformeerd (uiterlijk 4 weken van tevoren) over het voorgenomen gebruik van een bouwwerk. De gemeente kan op basis van deze



melding zonodig beslissen om zelf ter plaatse te gaan controleren of het voorgenomen gebruik daadwerkelijk aan de voorschriften van de besluit voldoet. De gemeente is echter niet verplicht om te controleren. Indien de indiener geen reactie krijgt van de gemeente, dan kan hij het gebouw in gebruik nemen. Overigens kan de controle door de gemeente ook na het in gebruik nemen van het gebouw plaatsvinden.

Voor sommige gebouwen kan niet worden volstaan met een gebruiksmelding maar is een omgevingsvergunning brandveilig gebruik noodzakelijk. Deze is noodzakelijk indien sprake is van één van de volgende voorwaarden:

- gebouwen waarin bedrijfsmatig of in het kader van verzorging nachtverblijf zal worden verschaft aan meer dan 10 personen (dit aantal kan per gemeente verschillen);
- gebouwen waarin dagverblijf zal worden verschaft aan meer dan tien kinderen (jonger dan 12 jaar) of meer dan tien lichamelijk of verstandelijk gehandicapte personen.

Anders dan bij een gebruiksmelding zal bij een omgevingsvergunning gebruik de gemeente altijd moeten beoordelen of het gebouw voldoende veilig kan worden gebruikt. De gebruiker zal daarom moeten wachten totdat de vergunning is verkregen om het gebouw in gebruik te nemen.

### *Normen*

In veel artikelen verwijzen de prestatie-eisen van het Bouwbesluit naar NEN normen. Dit kan gaan om bepalingmethoden die moeten worden gevolgd (bijvoorbeeld om het risico op brandoverslag te beoordelen wordt verwezen naar de NEN 6068 waarin een berekeningsmethode is opgenomen) of om normen die aangeven waaraan een materiaal moet voldoen (bijvoorbeeld de eisen aan het brandgedrag van materialen zijn opgenomen in de NEN EN 13501-1).

Normen zijn in feite vastgelegde afspraken die zijn gemaakt door verschillende partijen die betrokken zijn bij het betreffende onderwerp van de norm. Binnen een normcommissie zijn bijvoorbeeld afgevaardigden van de brandweer, adviseurs en leveranciers van bouwproducten vertegenwoordigd. Door deze samenwerking van verschillende betrokken partijen moet een breed draagvlak ontstaan voor de afspraken zoals die zijn vastgelegd.

Niet alle normen die door het NEN worden gepubliceerd worden ook aangestuurd door het Bouwbesluit. Er zijn ook normen die privaatrechtelijk zijn en niet in de publieke regelgeving zijn opgenomen. Een gemeente kan dus niet eisen dat aan deze normen wordt voldaan. Normen die wel worden aangestuurd door het Bouwbesluit, zijn uiteraard wel verplicht (tenzij een beroep op gelijkwaardigheid wordt gedaan waarbij wordt afgeweken van de betreffende prestatie-eis).

### 5.3 Overige wetten brandveiligheid

Naast de Woningwet zijn er nog enkele andere wetten die regelgeving over brandveiligheid bevatten. Deze regelgeving is over het algemeen alleen op specifieke gebouwen van toepassing. Regelgeving over de opslag van banden is bijvoorbeeld bij woningen niet van toepassing. Onderstaand is kort aangegeven welke regelgeving er verder nog aanwezig is.

#### *Bouwverordening*

Naast het Bouwbesluit is een ander belangrijk uitvoeringsbesluit van de Woningwet de (gemeentelijke) Bouwverordening. Deze verordening regelt onder andere het gebruik van gebouwen en hun omgeving. Denk hierbij aan stedenbouwkundige voorschriften, sloopvoorschriften, veiligheid op de bouw- en sloopplaats en de handhaving van regels.

#### *Omgevingsvergunning*

De Omgevingsvergunning is één vergunning voor bouwen, wonen, monumenten, ruimte, natuur, milieu en water. Het is de bedoeling dat er zoveel mogelijk locatiegebonden vergunningen en andere vereisten in de Omgevingsvergunning worden opgenomen. Het gaat hierbij onder meer om de volgende bestaande vergunningen:

- milieuvergunning;
- bouwvergunning;
- sloopvergunning;
- aanlegvergunning;
- gebruiksvergunning;
- monumentenvergunning.

Alle bepalingen die in deze bestaande vergunningen te maken hebben met (brand)veiligheid, komen op de één of andere manier terug in de nieuwe omgevingsvergunning.

#### *Wet Veiligheidsregio's*

De Wet Veiligheidsregio's regelt onder andere het voorkomen, beperken en bestrijden van brand en het beperken van brandgevaar. Daarnaast regelt deze wet ook het beperken en bestrijden van gevaar voor mensen en dieren bij ongevallen anders dan bij brand. Ingevolge de Wet Veiligheidsregio's wijst het gemeentebestuur de brandweer als gemeentelijke dienst aan die belast is met het toezicht op de naleving van de Brandbeveiligingsverordening.

### *Arbowet*

De Arbowet moet ervoor zorgen dat de arbeidsomstandigheden voor alle werknemers gezond, veilig en gelijkwaardig zijn. De wet- en regelgeving op het gebied van arbeidsomstandigheden is uitgewerkt in vier onderdelen:

- de Arbowet;
- het Arbobesluit;
- de Arboregeling;
- de Arbocatalogus.

Per 1 januari 2010 vervangen de Arbocatalogi de Arbobeleidsregels. In de Arbocatalogus spreken de werknemers en werkgevers in hun branche af hoe zij samen invulling gaan geven aan de bepalingen in de Arbowet, het Arbobesluit en de Arboregeling. Overigens worden veel (vooral technische) bepalingen uit de arbowetgeving overgeheveld naar de bouw- en milieuwetgeving.

De Arbeidsinspectie houdt toezicht op de naleving van de wet- en regelgeving op het gebied van arbeidsomstandigheden.

### *Wet Milieubeheer*

De Wet Milieubeheer is net als de Arbowet uitgewerkt in verschillende besluiten, regelingen en bijbehorende publicaties. In deze wet- en regelgeving staan ook brandveiligheidsvoorschriften. De meeste brandveiligheidsvoorschriften hebben betrekking op de opslag van brandgevaarlijke stoffen. Deze voorschriften staan niet in de Wet Milieubeheer zelf, maar in de genoemde bijbehorende besluiten, regelingen en publicaties. De belangrijkste hiervan zijn:

- het Activiteitenbesluit;
- de Regeling algemene regels voor inrichtingen milieubeheer;
- de richtlijnen in de PGS (Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen).

De gemeenten zijn bevoegd om toezicht te houden op de naleving van de milieuwetgeving. Een gemeente kan deze taak zowel bestuurlijk als strafrechtelijk invullen. Denk bij de bestuurlijke aanpak aan controle en handhaving. Op grond van de Wet op de economische delicten kan een gemeente echter ook strafrechtelijk optreden om naleving van de milieuwetgeving af te dwingen. Denk hierbij aan het opleggen van een boete aan een bedrijf dat bepaalde milieuvoorschriften overtreedt.

## **5.4 Toepassing in de praktijk**

In de praktijk zal het merendeel van nieuwe en bestaande gebouwen worden ingericht volgens de voorschriften van het Bouwbesluit. Pas wanneer het gebouw complex is, of er

specifieke wensen in ontwerp of gebruik zijn die conflicteren met de betreffende voorschriften, wordt teruggerepen op de bovenliggende doelen van de regelgeving. Dat is voor niet meer dan 20 % van de gebouwen het geval.

Het Bouwbesluit staat in artikel 1.3 een dergelijke aanpak ook toe. In dit artikel wordt geregeld dat mag worden afgeweken van concrete voorschriften van het Bouwbesluit, mits tenminste eenzelfde mate van brandveiligheid wordt bereikt. Dat zal moeten worden aangetoond. Daarvoor worden dan meer geavanceerde modellen toegepast voor de beschrijving van de brand (bron) en de respons van constructies, installaties en gebouwgebruikers.

Deze laatste aanpak (Fire Safety Engineering) leidt tot maatwerk in de brandveiligheid van een gebouw. Dat maatwerk moet onderdeel zijn van een consistent brandbeveiligingsconcept (of integraal plan brandveiligheid), dat tot een veel efficiënter voorzieningenniveau leidt, zowel in kosten als in veiligheid.

## **5.5 Bronnen**

Bouwbesluit 2012, inclusief Regeling Bouwbesluit 2012 en integrale toelichting – Ministerie van BZK, Den Haag, 213

## 6. Normen, certificering en model IBB

Auteurs: ir. R.J.M. Hartgerink  
ir. B. Kersten

Dit thema behandelt de werking van normering en certificering. Normering en certificering is essentieel in het borgen van het brandveiligheidsniveau in een gebouw.

Het doel van dit thema is om inzicht te geven in:

- de werking van normering en certificering;
- de rol van normering en certificering in brandveiligheid;
- het Model Integrale Brandveiligheid Bouwwerken (IBB).

Het thema is als volgt opgebouwd:

- Normen;
- Certificering
- Accreditatie;
- Model Integrale Brandveiligheid Bouwwerken (IBB).

### 6.1 Normen

Een norm of standaard is een document met erkende afspraken, specificaties of criteria over een product, een dienst of een methode. Standaarden kunnen vastgelegd worden binnen een bedrijf of organisatie, binnen een consortium van organisaties of door erkende standaardisatie-organisaties.

Erkende standaardisatie-organisaties (zowel nationale als internationale) werken volgens een bepaald proces en volgens bepaalde regels voor vertegenwoordiging:

- in nationale standaardisatieorganisaties zoals NEN in Nederland, moeten dit personen of organisaties zijn die in het land gevestigd zijn en belang hebben bij het onderwerp van de standaard;
- in Europese en internationale standaardisatie-organisaties, zoals CEN en ISO, kan enkel een afgevaardigde namens een nationale standaardisatie-organisatie lid zijn;
- in sommige andere Europese en internationale standaardisatie-organisaties, zoals ETSI en ITU, kunnen ook bedrijven lid worden.

Normen spelen een belangrijke rol in het private werkveld. Zonder normen is het onmogelijk om tot goede producten of diensten te komen op elk terrein van de brandveiligheid.

### **Voordelen van normen**

*Resultaten:* Normen hebben een positief effect op de kwaliteit en efficiency van een productieproces of de totstandkoming van een dienst. Ze dragen dus bij aan de resultaten van ondernemingen. Veiligheid en gemak. Wie de juiste norm gebruikt, hoeft bijvoorbeeld niet zelf te bedenken hoe een product veilig gemaakt kan worden. Normen maken het de gebruiker gemakkelijker om aan te tonen dat hij aan de regels voldoet. Ook maakt een fabrikant die de juiste norm toepast zijn product gemakkelijker verhandelbaar in binnen- en buitenland.

*Voorsprong:* De vele nationale, Europese en wereldwijde normen maken het soms lastig om de juiste norm voor een bepaalde toepassing te vinden. Een goede studie van de normen voor een onderwerp betaalt zich meestal wel ruimschoots terug. Sommigen zien het als een nadeel dat de kennis die in een norm wordt vastgelegd, niet langer bedrijfsgeheim is. Het bedrijf dat zijn expertise in een norm vastlegt heeft echter ook een voorsprong. Andere bedrijven doen er immers verstandig aan om zich aan de norm te conformeren.

### **Nadelen van normen**

*Prestatie-eisen:* Normen kunnen een belemmering vormen voor nieuwe toetreders op de markt. Zulke drempels zijn een logisch gevolg van het stellen van kwaliteitseisen. Onnodige drempels worden voorkomen door prestatie-eisen in normen op te nemen (over wat een product moet kunnen) in plaats van concrete producteisen (bijvoorbeeld over het gebruikte materiaal). Zo staat in een norm voor vensterglas hoeveel wind een ruit moet kunnen weerstaan, maar niet wat de samenstelling of dikte van de ruit moet zijn. Het is dan aan de fabrikant om te bepalen hoe hij de juiste sterkte bereikt.

*Doorlooptijd:* Normontwikkeling is een proces met een lange doorlooptijd. Dat betekent dat innovaties en nieuwe technologie vertraagd in de norm kunnen worden doorgevoerd. Tot die tijd heeft de innovatie moeite om geaccepteerd te worden. De toepassing van innovaties wordt belemmerd.

*Uitzonderingen:* Hoewel veel aandacht besteed wordt aan normteksten, kunnen zij moeilijk elke situatie voor de toepassing van de norm omschrijven. Er dient altijd weer een proces buiten de normontwikkeling vastgesteld te worden, dat een oordeel kan uitspreken over de afwijkende toepassing die de acceptatie bij afnemers kan hebben als ware het een norm-eis.

## **Normen in de brandveiligheid**

In sommige gevallen worden normen door de wetgever aangewezen. Voorbeelden hiervan op het vlak van brandbeveiligingsinstallaties zijn:

- NEN 2535 – Brandveiligheid van gebouwen – Brandmeldinstallaties – Systeem- en kwaliteitseisen en projectierichtlijnen.
- NEN 2575 – Brandveiligheid van gebouwen – Ontruimingsinstallaties – Systeem- en kwaliteitseisen en projecteringsrichtlijnen.
- NEN 2654-1 – Beheer, controle en onderhoud van brandbeveiligingsinstallaties – brandmeldinstallaties.
- NEN 2654-1 – Beheer, controle en onderhoud van brandbeveiligingsinstallaties – ontruimingsinstallaties.

Deze normen dienen dan te worden toegepast bij de invulling van wettelijke voorschriften voor deze installaties.

## **Normen en certificatie**

Certificatie van producten of diensten dient zich altijd te baseren op een normatief document. In vele gevallen is dat normatieve document ook daadwerkelijk een norm van een normalisatie-instituut. De norm legt het adequate kwaliteitsniveau vast en het certificaat verklaart dat in redelijkheid mag worden aangenomen dat die kwaliteit ook geleverd is.

## **6.2 Certificering**

Een certificaat is “een schriftelijke verklaring van een hiertoe bevoegd persoon”. De term certificaat kan dus in zeer uiteenlopende situaties gebruikt worden waarbij inhoudelijk grote verschillen aanwezig zijn. Het is een term met meerdere varianten en kan betrekking hebben op testen, inspectie, certificatie en accreditatie.

Het is beter om, als in algemene zin over het onderwerp gesproken wordt, de term conformiteit te gebruiken. Conformiteit is hetgeen door het certificaat wordt verklaard. Conformiteit gaat daardoor over het voldoen aan de gestelde eisen.

Het proces kent de volgende aspecten:

- Het vaststellen of benoemen van het normatieve document.
- Het bepalen van de kwaliteit kritische eigenschappen op basis van herleidbare meetgrootheden of op basis van een functionele test.
- Het vaststellen van conformiteit op basis van goed- en afkeurcriteria.
- Het verklaren van conformiteit door het certificaat.

### **Verklaring van conformiteit**

In een aantal situaties is het denkbaar dat een afnemer niet in staat is zelf een geleverd product/dienst of een object in gebruik te controleren op de afgesproken kwaliteitseisen. Redenen kunnen kennisgebrek of technisch of economisch van aard zijn. Het kan ook voorkomen dat andere partijen, die belang hebben bij het geleverde product of het product in gebruik, de naleving van de kwaliteitsafspraken aangetoond willen krijgen.

Bij een brandveilig gebouw hebben brandweer en verzekeraars een dermate groot belang bij de kwaliteit van het brandbeveiligingsconcept, dat zij als 'eisende' partijen optreden.

Vanwege de aanwezige risico's verlangen deze partijen dat zekerheid gegeven wordt door een onafhankelijke organisatie. Hier is een rol weggelegd voor conformiteit verklarende instellingen; certificatie- of inspectie-instelling.

Door de aantoonbaarheid van de gerealiseerde kwaliteit verminderen de risico's die ontstaan indien kwaliteit vermeend aanwezig, maar niet daadwerkelijk aanwezig is. Het aantoonbaar maken van kwaliteit leidt over de totale keten tot vermindering van kosten. Problemen worden vroegtijdig ontdekt of voorkomen.

Daarentegen zou vanuit risicomanagement het certificeren van producten met een zeer laag risico niet rendabel kunnen zijn. Indien de kansen en de gevolgen bij falen, goed in beeld gebracht zijn, kan men tot de conclusie komen dat certificering geen toegevoegde waarde heeft.

### **Certificering van bouwproducten**

Voor productnormen geldt dat, indien het product voor de test slaagt (en dus mag worden toegepast in een bepaalde situatie), deze wordt voorzien van een certificaat. Voor brandwerende deuren in een compartimentscheiding geldt bijvoorbeeld een minimaal vereiste brandwerendheid van 60 minuten. Voor de testmethode waaruit moet blijken dat de deur ook daadwerkelijk 60 minuten brandwerend is, verwijst het Bouwbesluit vervolgens door naar de NEN 6069. Via deze en onderliggende normen kan vervolgens volgens een standaard testmethode worden bepaald wat de brandwerendheid van de deur is. Indien de deur ook daadwerkelijk 60 minuten brandwerend is, dan wordt deze voorzien van een certificaat. Het certificaat toont aan dat de deur aan de eis voldoet.

In een testcertificaat zijn voorwaarden opgenomen voor de geldigheid ervan. Indien niet aan deze voorwaarden wordt voldaan, is het certificaat niet zomaar geldig. Een voorbeeld hiervan is een deur met grotere afmetingen dan in de geteste situatie. Het toepassen van een dergelijke deur is alleen mogelijk indien goed kan worden



gemotiveerd waarom bij deze grotere afmetingen de vereiste brandwerendheid ook zal worden behaald. In veel situaties is dit zonder test echter niet mogelijk.

### **Certificering van brandbeveiligingsinstallaties**

Om voldoende zekerheid te hebben dat brandbeveiligingsinstallaties (zoals brandmeldinstallaties en sprinklerinstallaties) daadwerkelijk goed functioneren, stelt het Bouwbesluit dat voor deze installaties op het moment van ingebruikname zijn voorzien van een inspectiecertificaat. Dit inspectiecertificaat moet zijn afgegeven volgens de betreffende inspectieregeling van het Centrum voor Criminaliteitspreventie en Veiligheid (CCV). Een productcertificaat is niet (meer) verplicht maar kan wel deel uitmaken van het inspectiecertificaat.

In een productcertificaat wordt in feite vastgesteld dat een installatie die is aangelegd precies voldoet aan de betreffende norm (bijvoorbeeld de NEN 2535 voor brandmeldinstallaties). Het inspectiecertificaat wordt opgesteld door een erkende inspectie-instelling, die op haar beurt daarvoor geaccrediteerd is.

Volgens het Bouwbesluit is een inspectiecertificaat verplicht bij ingebruikname van de installatie. Dit certificaat bevat de gehele installatie hetgeen betekent dat ook aangestuurde componenten worden beschouwd. Indien dus bijvoorbeeld een brandmeldinstallatie rookluiken aanstuurt, wordt gecontroleerd of deze rookluiken ook daadwerkelijk openen in geval van een brandmelding. Het inspectiecertificaat wordt gebaseerd op een vooraf opgesteld programma van eisen (PvE, ook wel uitgangspuntendocument genoemd).

Momenteel mag een PvE of uitgangspuntendocument door iedereen worden opgesteld. Om toch een bepaald kwaliteitsniveau te krijgen, zijn er diverse initiatieven om tot een gecertificeerd PvE-opsteller te komen.

### **Certificering in de bouwregelgeving**

Anders dan bij de bouwproducten en installaties is voor andere aspecten (nog) geen sprake van certificering. Voor adviseurs of toetsers bij de gemeente gelden bijvoorbeeld geen minimale eisen waaraan zij moeten voldoen. Om een zekere garantie van kwaliteit te verkrijgen zijn er diverse initiatieven om bijvoorbeeld via certificering minimale kwaliteitseisen vast te leggen.

Het systeem van certificering en accreditatie in (het toezicht op) de bouw is nog volop in ontwikkeling. Er is nog geen sprake van formeel vastgelegde en landelijk erkende vakbekwaamheidseisen. Gevolg hiervan is dat onduidelijk is aan welke (opleidings)eisen een controleur of inspecteur moet voldoen om zijn deskundigheid en bevoegdheid aan te tonen. De overheid wil graag formele en landelijk erkende vakbekwaamheidseisen aan toezichthouders en adviseurs in de bouwwereld:

- Om de publieke belangen van kwaliteit, veiligheid en duurzaamheid beter te kunnen waarborgen.
- Om bepaalde overheidstaken beter te kunnen dereguleren.

Een voorbeeld van deregulering is het initiatief om te komen tot gecertificeerde bouwplantoetsing. Hierbij wordt de aanvraag van een bouwvergunning door een gecertificeerd bureau getoetst. Wanneer dit bureau vaststelt dat de bouwplannen- en tekeningen bij de vergunningsaanvraag aan de regels voldoen, dan is de gemeente verplicht om een bouwvergunning af te geven.

### **Gerechtvaardigd vertrouwen**

Zowel nationaal als internationaal hebben afnemers behoefte aan zekerheid over de kwaliteit van geleverde goederen en diensten. Immers, de verscheidenheid is tegenwoordig groot. Daarom kan een leverancier zijn product of dienst objectief laten beoordelen of testen door een laboratorium, certificatie- of inspectie-instelling. Dit is mogelijk op ieder denkbaar werkgebied, zoals bouw, energie, voeding, milieu, drinkwater, gezondheid, transport en zo verder.

Certificering en inspectie gaan over gerechtvaardigd vertrouwen dat het product of de dienst aan de kwaliteitseisen/normeisen voldoet. Belangrijke voorwaarden voor een gerechtvaardigd vertrouwen zijn:

- duidelijkheid waar het certificaat over gaat,
- duidelijkheid wat de eisen zijn,
- duidelijkheid op welke wijze bepaald wordt dat aan de eisen voldaan wordt,
- onafhankelijkheid en onpartijdigheid,
- deskundige uitvoering.

Om de bovenstaande voorwaarden eenduidig te kunnen invullen, worden certificerings- en inspectieregelingen of conformiteitsschema's opgesteld. Deze schema's werken uit aan welke algemene en administratieve voorwaarden een organisatie dient te voldoen. Verder wordt voorgeschreven welke personele en opleidingseisen van toepassing zijn en of er nog voorgeschreven werkprocessen zijn. De dienst of het product zelf is omschreven in het normatieve document dat zelf geen onderdeel vormt van het schema.

Hoe een schema moet worden opgesteld is zelf weer een onderwerp van accreditatienormen. De accreditatienormen geven dus invulling aan de inrichting en uitvoering van de conformiteitsschema's.

## 6.3 Accreditatie

Het beoordelen van certificatie- en inspectie-instellingen door de Raad voor Accreditatie (RvA) wordt accreditatie genoemd. Het stelsel van methoden voor de uitvoering van de beoordeling wordt de accreditatiestructuur genoemd. Een structuur die opgebouwd is rond de diverse accreditatienormen en richtlijnen.

Accreditatie van een inspectie-instelling is gebaseerd op de norm ISO/IEC 17020. Inspectie-instellingen die zijn geaccrediteerd beschikken over de vereiste bekwaamheid om inspecties uit te voeren.

Binnen NEN-EN-ISO/IEC 17020 kan gebruik gemaakt worden van geaccrediteerde testrapporten, inspectierapporten/-certificaten en/of productcertificaten, mits het onderwerp en de eisen dezelfde zijn. Hiermee wordt dubbel werk vermeden. Er ontstaat als het ware een 'gestapelde' structuur van certificaten en rapporten. Hierdoor is het mogelijk om, op een efficiënte wijze, ook van zeer complexe en samengestelde leveringen of processen de conformiteit te beoordelen.

De norm voorziet in drie niveaus van inspectie. Er zijn dientengevolge **drie typen inspectie-instellingen**, type A, B, en C:

**Type A:**

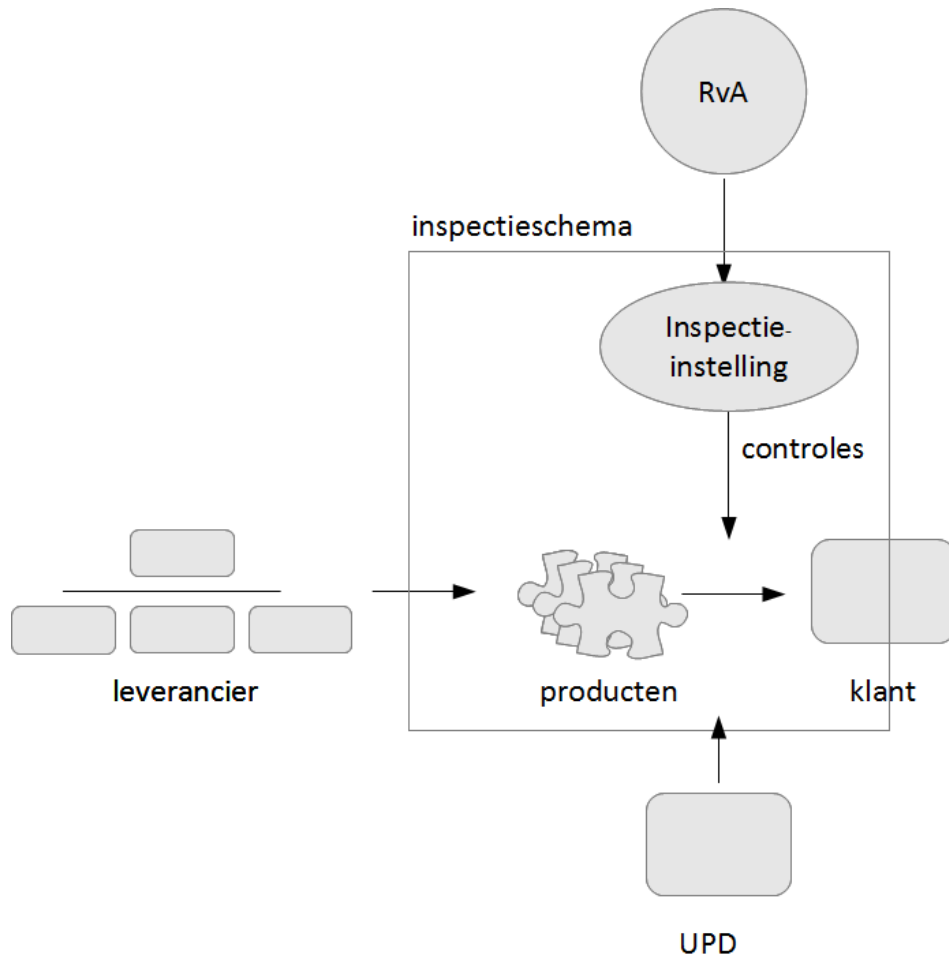
Volledig onafhankelijk, hierbij zijn de instelling en personen betrokken bij de "inspectie" op geen enkele wijze betrokken bij het object van inspectie. Opdrachten kunnen verkregen worden van leveranciers, afnemers, eindgebruikers, eisende partijen, overheid.

**Type B:**

Verricht uitsluitend inspecties binnen en ten diensten van de moederorganisatie. Hierbij geldt intern een onafhankelijke positie, waardoor inspecties en hieraan verbonden conclusies niet beïnvloed kunnen worden.

**Type C:**

Verricht inspecties ten diensten van de moederorganisatie en andere partijen. Er gelden minder stringente onafhankelijkheidseisen, wel met een procedurele scheiding van verantwoordelijkheden.



Figuur 1: Het inspectieschema legt vast hoe de verschillende producten met elkaar een goed werkende installatie vormen, gebaseerd op het PvE (of UPD: uitgangspuntendocument), door een geaccrediteerde inspectie-instelling.

Het werk van een geaccrediteerde certificerende instelling is onder te verdelen in drie categorieën, te weten:

- product;
- managementsysteem (kwaliteit, milieu, veiligheid, etc.);
- persoon.

### Productcertificatie

Er is sprake van een leverancier/ producent en de afnemer. De certificerende instelling sluit een certificatiecontract met een specifieke leverancier/producent om tot een verklaring over het te leveren product of dienst te komen.

De leverancier is verantwoordelijk:

1. om het product of de dienst te leveren dat aan de gestelde eisen (het normatieve document) voldoet, en
2. om aan de certificatie-instelling aantoonbaar te maken dat aan de gestelde eisen en voorwaarden voor certificatie voldaan wordt.

Productcertificatie is gebaseerd op het drie partijen model met de RvA als toezichthouder op afstand.

De eisen aan het object van certificatie (product of dienst) dienen eenduidig, meetbaar en toetsbaar geformuleerd te worden. Specifieke eisen aan dit document worden opgenomen in het certificeringsschema en naar de normen die hierbij toegepast mogen worden, wordt eveneens een verwijzing gemaakt.

Productcertificatie kent verschillende uitvoeringsvormen en kan variërend van ontwerpbeoordeling, type keur, enkelstukbeoordeling, batchbeoordeling, tot een periodieke keuring met licentie van een certificatiemerk op producten.

Hierbinnen zijn nog gradaties mogelijk van een licht tot een zwaar toezichtregime.

### **Managementsysteemcertificatie**

Onder managementsysteemcertificatie worden het beoordelen (auditen) van een managementsysteem op basis van de voorwaarden van een certificeringsschema verstaan.

Een certificaat heeft een geldingsduur, waarmee een mate van vertrouwen naar de toekomst toe gerealiseerd wordt.

### **Persoonscertificatie**

Persoonscertificatie houdt certificering in van de vakbekwaamheid (kennis en kunde) op een specifiek gebied.

Persoonscertificatie is een alternatief die situaties, waarin een te leveren dienst, mens- en niet organisatie-afhankelijk is (bijvoorbeeld een makelaar), of in combinatie met een systeemcertificaat indien op dit punt meer diepgang en borging gewenst is (bijvoorbeeld lassers).

## **6.4 Model Integrale Brandveiligheid Bouwwerken (IBB)**

De verantwoordelijkheid voor de integrale brandveiligheid in een bouwwerk ligt, zoals al eerder aangegeven altijd bij de gebruiker van het gebouw. Hoe kan hij aan die verantwoordelijkheid invulling aan geven? Integrale brandveiligheid is immers zeer gecompliceerd. Het gaat om een samenspel van organisatorische maatregelen, bouwkundige voorzieningen en installaties. Het vereist veel inspanning van verschillende partijen om van een object een brandveilig bouwwerk te maken.

De gebouwgebruiker heeft in het Model Integrale Brandveiligheid Bouwwerken (Model IBB) een praktisch hulpmiddel. Het structureert het proces van samenwerking tussen de betrokken partijen. Het Model IBB biedt een methode om de juiste samenstelling van verschillende brandveiligheidsmaatregelen te realiseren. Resultaat is een brandbeveiligingsconcept dat voor het betreffende bouwwerk het risico op brand tot een aanvaardbaar niveau terugbrengt.

Het model richt zich op persoonlijke veiligheid, beheersing van brandschade en de gevolgen daarvan in gebouwen en hun omgeving. En dat zowel tijdens de bouwphase, als gedurende het gebruik van het gebouw.

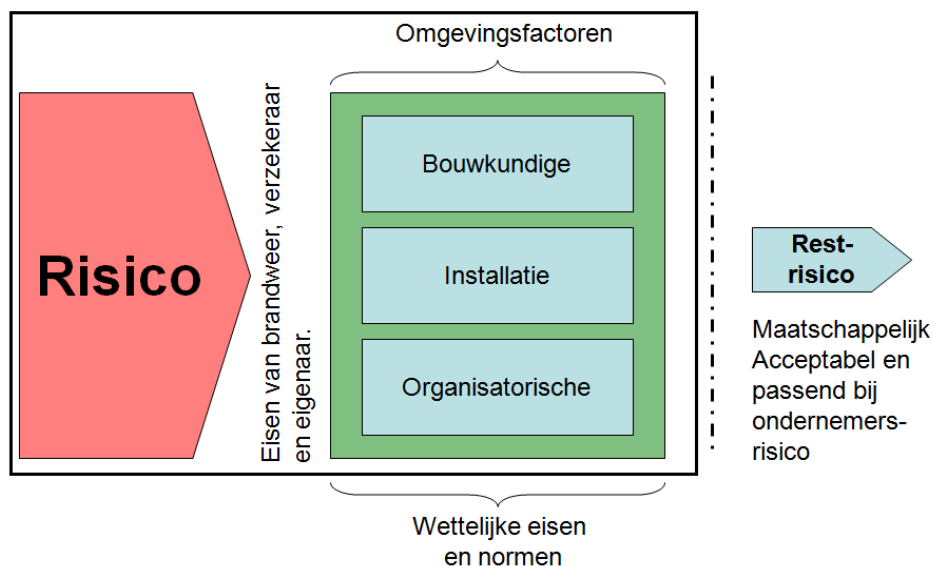
Het doel van het model IBB wordt als volgt omschreven:

*“Het continu waarborgen van de afgesproken integrale brandveiligheid voor een bouwwerk, gedurende de levenscyclus en afgestemd op de gebruiksfunctie van dat bouwwerk”.*

Risicobenadering (kans x gevolg), continuïteit, waarborging van brandveiligheid en cyclische toepassing zijn essentiële aspecten van het Model IBB.

### Uitgangspuntendocument IPB

De basis voor de brandveiligheid van elk bouwwerk is het formuleren en inventariseren van de uitgangspunten voor integrale brandveiligheid met alle bijbehorende maatregelen en voorzieningen. Op grond van deze informatie kan het restrisico vastgesteld worden.



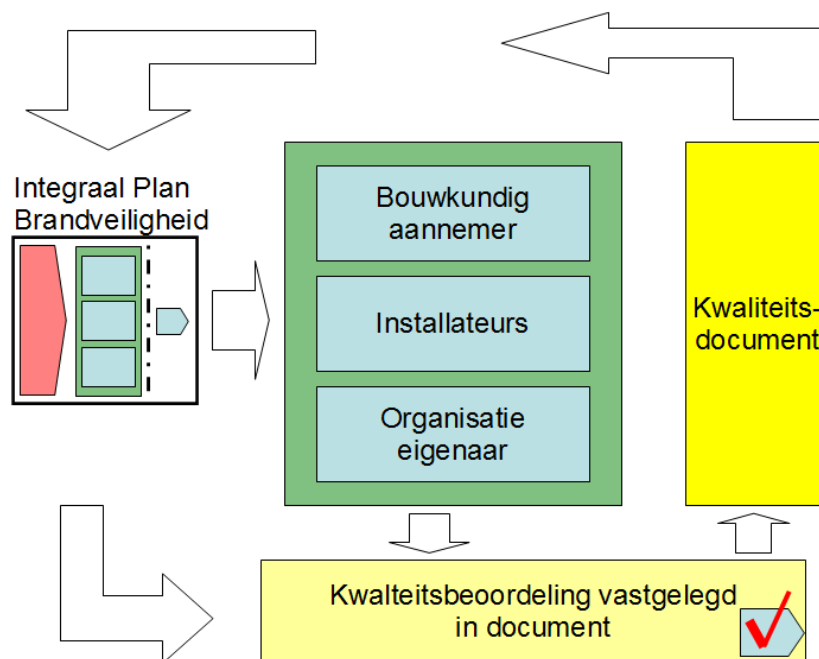
Figuur 2: Structuur voor bepaling van het restrisico.

Naar aanleiding hiervan kan het Integraal Plan Brandbeveiliging (IPB) worden opgesteld. Het IPB beschrijft voor het betreffende individuele bouwwerk een samenhangend geheel van bouwkundige, installatietechnische en organisatorische brandbeveiligingsmaatregelen (kortweg: BIO-maatregelen). Tevens wordt in het IPB de onderlinge samenhang, uitgangspunten en eventuele eisen aan de uitvoering van die maatregelen vastgesteld.

Het IPB vormt de basis voor de verdere uitwerking van de gekozen brandbeveiligingsmaatregelen. Het Model IBB voorziet in het aantoonbaar maken van de kwaliteit van het werk van alle betrokken partijen. Certificatie en inspectie zijn de instrumenten die daarvoor gebruikt kunnen worden, zeker voor kritische brandbeveiligingsmaatregelen. Het Model IBB is zo het cement tussen verschillende conformiteitschema's voor de BIO-maatregelen en het integrale brandveiligheidsconcept.

Aan het einde van het elke stap van het ontwerp-, bouw- en onderhoudsproces is een beoordeling mogelijk van de samenhang van de BIO-maatregelen en hun gezamenlijke bijdrage aan de brandveiligheid van het bouwwerk. De beoordeling kan verschillende vormen hebben van een eigen verklaring van een leverancier tot een uitgebreide geaccrediteerde inspectie, afhankelijk van het brandveiligheidsrisico en de complexiteit van het bouwwerk met de gekozen BIO-oplossingen.

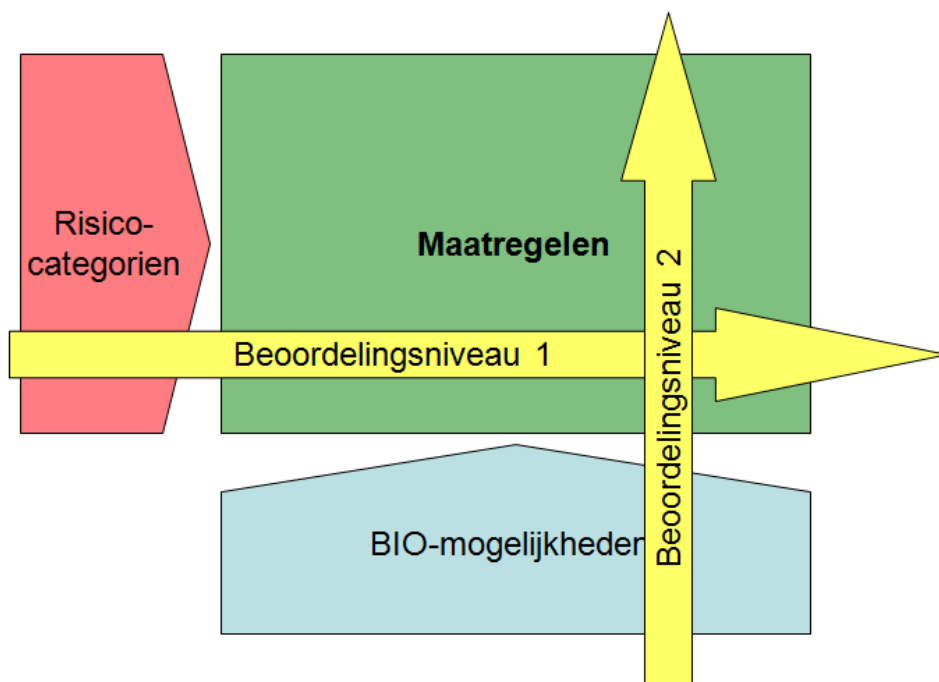
Na afronding van de laatste stap begint het proces weer opnieuw. Het model IBB is dus een cyclisch model. Zo kunnen de brandbeveiligingsvoorzieningen worden onderhouden en aangepast aan veranderingen in het bouwwerk of het gebruik ervan.



Figuur 3: Processchema voor het Model IBB

Het model IBB gaat uit bij integrale brandveiligheid van (kwaliteits)borging op twee niveaus:

- het aantoonbaar maken van de integrale brandveiligheid van het bouwwerk,
- de aantoonbare kwaliteit van de individuele BIO maatregelen.



Figuur 3: Twee niveaus van kwaliteitsborging in het Model IBB.

Het 'IBB-predicaat' is een hulpmiddel om aan te tonen dat voldaan is aan de uitgangspunten uit het IPB en invulling is gegeven aan de afspraken en wettelijke eisen.

## 6.5 Toepassing in de praktijk

In het Bouwbesluit worden in Hoofdstuk 6 de wettelijke eisen aan de certificering van brandbeveiligingsinstallaties omschreven. Concreet worden alleen inspectieregelingen van het CCV genoemd; regelingen voor onder andere brandmeldinstallaties, ontruimingsinstallaties en automatische blusinstallaties.

In artikel 6.20 "Brandmeldinstallatie" met de daarbij horende tabel uit bijlage 1 voorgeschreven wanneer een brandmeldinstallatie geïnspecteerd moet worden. Uit deze tabel blijkt dat een rechtstreekse doormelding van een brandmeldinstallatie alleen nog verplicht is in gebouwen waarin geslapen wordt.



Ook voor gebouwen met een verhoogd risico wordt een inspectiecertificaat geëist. Dit zijn in ieder geval alle gebouwen waar een rechtstreekse doormelding naar de Regionale Alarmcentrale (RAC) verplicht is. Daarnaast wordt ook voor de “grotere” gebouwen met een vloer boven een bepaalde hoogte en/of een grotere gebruiksoppervlakte een inspectiecertificaat geëist.

Niet elke bouwkundige kan met gezag vaststellen of een vergunningsaanvraag, een bouwplan, een bouwwerk of het gebruik van een gebouw aan de voorschriften in de bouwregelgeving voldoet. De burger moet erop kunnen vertrouwen dat het oordeel van een toezichthouder (zoals een inspecteur van de gemeente) of adviseur (van bijvoorbeeld een bouwkundig adviesbureau) deskundig is. Om deze deskundigheid te waarborgen, moeten toezichthouders en adviseurs zijn gecertificeerd. Dit betekent dat de betreffende functionaris met behulp van een certificaat kan aantonen dat hij deskundig en bevoegd is om zijn toezichthoudende of adviserende taak uit te voeren.

Gecertificeerde bouwplantoetsing en gecertificeerd toezicht is alleen mogelijk als duidelijk is aan welke landelijke vakbekwaamheidseisen de ‘toetsers’ en ‘toezichthouders’ moeten voldoen om voor het benodigde certificaat in aanmerking te komen. Het gaat hierbij zowel om beginnende vakbekwaamheid (opleiding) als om blijvende vakbekwaamheid (bij- en nascholing).

De vakbekwaamheidseisen zijn momenteel nog niet vastgelegd. Uit het voorgaande blijkt dat dit nodig moet gebeuren, bij voorkeur met behulp van een landelijk erkend document.

## **6.6 Bronnen**

Oppen, W. van, R. Hartgerink – Model integrale brandveiligheid bouwwerken – Centrum voor Criminaliteitspreventie en Veiligheid CCV, Utrecht, 2010

Kom  
verder



# MODULE 4

## Hoofdstuk 7

Warmtetransportmechanismen

## Hoofdstuk 8

Het verbrandingsproces en de natuurlijke brand

### Leerdoel:

Warmtetransportmechanismen onder brandcondities kunnen beschrijven, begrip van dynamische transportverschijnselen en de dynamische brandontwikkeling in een brandruimte, afhankelijk van brandstof- en gebouwkenmerken.

## 7. Warmtetransportmechanismen

Auteur: ir. R.A.P. van Herpen FIFireE

Warmtetransport in een brandsituatie en de warmte-afgifte aan personen en constructies is feitelijk identiek aan warmtetransport in de gebruikssituatie (bouwphysica). Alleen de randcondities zijn extremer ten gevolge van de brandhaard. Dat betekent dat andere transportmechanismen maatgevend zijn en dat daarnaast het warmtetransport vrijwel altijd niet-stationair moet worden beschouwd (brandfysica).

Het doel van dit thema is om inzicht te geven in:

- warmtetransport en warmteoverdracht onder brandcondities;
- niet-stationaire effecten onder brandcondities.

Het thema is als volgt opgebouwd:

- warmtetransport, algemeen;
- warmtetransport door geleiding, stationair en niet-stationair;
- warmtetransport door straling;
- convectief warmtetransport.

### 7.1 Warmtetransport, algemeen

In de brandveiligheid worden, net als in de overige bouwfysische vakgebieden, drie principiële warmtetransportmechanismen toegepast:

1. geleiding
2. convectie (stroming)
3. straling

#### *Ad 1: Geleiding*

Geleiding treedt op bij warmtetransport door vaste materialen. Hoewel dit transport in theorie ook optreedt in vloeistoffen en gassen, is het hier meestal volledig ondergeschikt aan het stromingstransport. Het warmtetransport door geleiding in het materiaal komt tot stand onder invloed van een temperatuurverschil over het materiaal, waarbij de mate van geleiding wordt bepaald door de warmtegeleidingscoëfficiënt van het materiaal.

#### *Ad 2: Convectie*

Convectie of stromingstransport treedt op in vloeistoffen en gassen. De warmte-inhoud van het materiaal wordt door het massatransport verplaatst. Dit stromingstransport

komt tot stand door een drukverschil. Dit drukverschil wordt overigens, in geval van brand, vaak door een temperatuurverschil veroorzaakt.

### *Ad 3: Straling*

Stralingsoverdracht komt niet via een materiaal tot stand, maar is het gevolg van emissie van infrarode (elektromagnetische) straling aan het materiaaloppervlak. Dit kan een vast materiaal zijn, maar ook een vloeibaar of gasvormig materiaallichaam, zoals een vlam.

In de hierna volgende paragrafen worden de warmtetransportmechanisme nader toegelicht.

## 7.2 Warmtetransport door geleiding

### Stationair geleidingstransport

Eendimensionaal warmtetransport door een materiaal als gevolg van geleiding kan als volgt worden beschreven:

$$q = -\lambda \cdot \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Dit geeft:

$$q \cdot \int_0^L dx = -\lambda \cdot \int_{T_1}^{T_2} dT \quad (2)$$

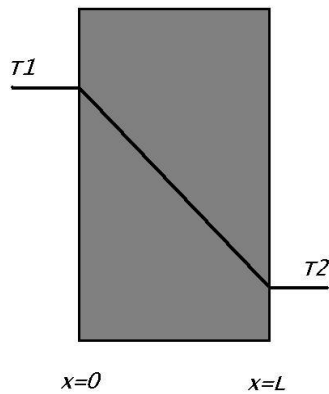
Ervan uitgaande dat de warmtegeleidingscoëfficiënt  $\lambda$  onafhankelijk is van de temperatuur van het materiaal, kan dit worden uitgewerkt tot:

$$q = \frac{\lambda}{L} (T_1 - T_2) \quad (3)$$

Hierin is:

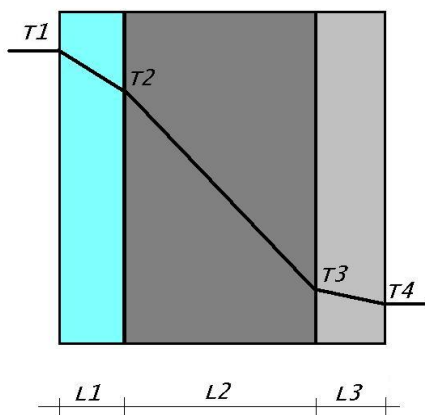
- $q$  warmtestroomdichtheid [W/m<sup>2</sup>]
- $\lambda$  warmtegeleidingscoëfficiënt [W/(m.K)]
- $T$  temperatuur [K]
- $x$  afstand [m]

Figuur 1 geeft deze relatie schematisch weer.



Figuur 1: Temperatuurverloop bij eendimensionaal warmtetransport door geleiding.

Bij samengestelde constructies, bestaande uit meer dan één materiaallaag, gaat de gegeven relatie voor elke materiaallaag afzonderlijk op. In figuur 2 is dit weergegeven.



Figuur 2: Temperatuurverloop bij ééndimensionaal warmtetransport door geleiding, meerlaagse constructie.

De warmtestroomdichtheid, behorende bij de doorsnede van figuur 2, bedraagt:

$$q = \frac{\lambda_1}{L_1} \cdot (T_1 - T_2) = \frac{\lambda_2}{L_2} \cdot (T_2 - T_3) = \frac{\lambda_3}{L_3} \cdot (T_3 - T_4) \quad (4)$$

Dit kan ook geschreven worden als:

$$q = \frac{T_1 - T_4}{\left( \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \frac{L_3}{\lambda_3} \right)} \quad (5)$$

De term in de noemer van de bovenbeschreven vergelijking wordt wel de “warmteweerstand van de constructie” genoemd. Wanneer  $T_1$  en  $T_4$  in de doorsnede van figuur 2 luchttemperaturen zijn (in plaats van oppervlaktetemperaturen, zoals in figuur 2 is aangegeven), dient de warmteweerstand te worden vergroot met de

overgangsweerstanden aan weerszijden van de constructie. De totale warmteweerstand bestaat dus uit de drie warmteweerstanden van de verschillende materiaallagen ( $L_i/\lambda_i$ ), vermeerderd met de twee overgangsweerstanden.

#### Voorbeeld: scheidingswand van een brandcompartiment

De drielaagse constructie van figuur 2 heeft de volgende opbouw:

- steenwol:  $\lambda=0,04 \text{ W/(m.K)}$ ,  $L=0,06 \text{ m}$
- beton:  $\lambda=2,0 \text{ W/(m.K)}$ ,  $L=0,20 \text{ m}$
- steenwol:  $\lambda=0,04 \text{ W/(m.K)}$ ,  $L=0,06 \text{ m}$

Aan beide zijden van de constructie is een overgangscoefficient aanwezig van  $h=25 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ , ofwel een overgangsweerstand van  $R=0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

#### Vragen

1. Wat is de warmteweerstand van de constructie en wat is de totale warmteweerstand?
2. Wat is de maximale temperatuur in het beton, wanneer voor de temperatuur in de brandruimte  $800 \text{ oC}$  aangehouden kan worden, en in de aangrenzende ruimte  $20 \text{ oC}$ ?

#### Antwoorden

1. De warmteweerstand van steenwol bedraagt:  $L / \lambda = 0,06 / 0,04 = 1,50 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Voor beton is dit  $0,20 / 2,0 = 0,10 \text{ m}^2\text{K/W}$ . De warmteweerstand van de constructie wordt daarmee:  $1,50 + 0,10 + 1,50 = 3,10 \text{ m}^2\text{K/W}$ . rekening houdend met de overgangsweerstanden aan weerszijden van de constructie wordt de totale warmteweerstand  $3,18 \text{ m}^2\text{K/W}$ .
2. De maximale temperatuur in het beton treedt in de stationaire situatie op op het scheidingsvlak tussen beton en steenwol, aan de zijde van de brandruimte. Aangezien het temperatuurverval in de constructie evenredig is met de warmteweerstand van de constructie kan geschreven worden:

$$T_{\max} = 800 - (1,54 / 3,18) \times (800 - 20) = 800 - 378 = 422 \text{ oC.}$$

Aan de andere zijde van de materiaallaag beton bedraagt de temperatuur:

$$T_{\min} = 20 + (1,54 / 3,18) \times (800 - 20) = 20 + 378 = 398 \text{ oC.}$$

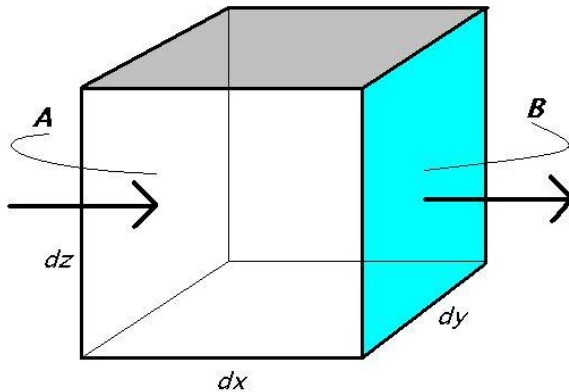
### Niet-stationair geleidingstransport

In brandsituaties is het stationair warmtetransport feitelijk niet zo interessant. Het kenmerk van brand is juist dat de temperatuur in de brandruimte snel erg hoog kan worden. Niet-stationair warmtetransport door de constructie leidt derhalve tot veel realistischer resultaten. Immers, door warmte- (of koude-) accumulatie in de constructie reageert de constructie traag. Deze thermische traagheid leidt tot minder extreme temperaturen in de constructie enerzijds, en een tijdsverschuiving voor de maximaal optredende temperatuur anderzijds.

Het effect van de thermische traagheid wordt in de onderstaande relaties en de bijbehorende figuur 3 geïllustreerd. Daarbij wordt weer uitgegaan van warmtetransport in één richting (eendimensionaal):

$$q_x \cdot dS = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} dydz$$

$$q_{x+dx} \cdot dS = -\lambda \left( \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} dx \right) dydz \quad (6)$$



Figuur 3: Warmtetransport (geleiding) door een volume-element van kleine afmetingen.

Het verschil tussen de vergelijkingen aan het inkomende en het uitgaande oppervlak van het volume-element, moet worden goedgeemaakt door de warmte-accumulatie enerzijds en een eventueel aanwezig warmtebron anderzijds. Dit leidt tot de volgende vergelijking:

$$\lambda \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) dx dy dz = \rho c \frac{\partial c}{\partial t} dx dy dz - Q dx dy dz \quad (7)$$

Hierin is  $Q$  het vermogen dat per volume-eenheid wordt afgegeven.  $\rho$  en  $c$  zijn respectievelijk de dichtheid en de warmtecapaciteit van het materiaal.

Dit kan worden vereenvoudigd tot:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} - \frac{Q}{\lambda} \quad (8)$$

Hierin is  $\alpha$  de "thermische diffusiteit" (of temperatuurvereffeningscoëfficiënt) van het materiaal ( $\alpha = \lambda/(\rho c)$ ). Deze grootte wordt in de bovenstaande relatie constant verondersteld. In de meeste gevallen zal in het volume-element geen warmtebron aanwezig zijn. De grootte  $Q$  is dan 0. De vergelijking kan dan verder worden vereenvoudigd (eendimensionaal):

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad (9)$$

Uitgebreid naar drie dimensies wordt dit:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \nabla^2 T = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad (10)$$

Bij een half-oneindig medium, welke aan het oppervlak wordt verhit, speelt de thermische diffusiteit samen met het tijdsinterval een rol in de bepaling van de meewerkende dikte van het materiaal. Dit is van belang om te kunnen bepalen of een materiaallaag in een niet-stationaire berekening als half-oneindig medium. Dit blijkt het geval te zijn wanneer wordt voldaan aan:

$$L > 2 \cdot \sqrt{\alpha \cdot t} \quad (11)$$

De grootheid  $\sqrt{\alpha \cdot t}$  is de “karakteristieke thermische geleidingsdiepte” (of karakteristieke thermische indringingsdiepte) van het materiaal. Wanneer het materiaal meer dan tweemaal zo dik is als de karakteristieke thermische geleidingsdiepte kan het worden beschouwd als thermisch dik. Is dit niet het geval, dan is het materiaal thermisch dun.

Een andere, hiermee verband houdende grootheid is de thermische traagheid, meestal aangeduid met  $b$ . De thermische traagheid ligt als volgt vast:

$$b = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c} \quad (12)$$

Tabel 1 geeft van enkele veel voorkomende materialen de thermische diffusiteit en de thermische traagheid weer.



materiaal	eigenschappen (grootheden)				
	$\lambda$	$c_p$	$\rho$	$\alpha$	$\lambda \rho c_p$
	[W/m.K]	[J/kg.K]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[m <sup>2</sup> /s]	[W <sup>2</sup> .s/m <sup>4</sup> K <sup>2</sup> ]
koper	387,000	380	8940,0	1,14E-04	1,31E+09
staal	45,800	460	7850,0	1,27E-05	1,65E+08
metselwerk	0,690	840	1600,0	5,13E-07	9,27E+05
beton	2,000	880	2300,0	9,88E-07	4,05E+06
floatglas	0,760	840	2700,0	3,35E-07	1,72E+06
gipspleister	0,480	840	1440,0	3,97E-07	5,81E+05
PMMA	0,190	1420	1190,0	1,12E-07	3,21E+05
hardhout, eiken	0,170	2380	800,0	8,93E-08	3,24E+05
naaldhout, vuren	0,140	2850	640,0	7,68E-08	2,55E+05
asbest	0,150	1050	577,0	2,48E-07	9,09E+04
PUR-schuim	0,034	1400	20,0	1,21E-06	9,52E+02
lucht	0,026	1040	1,1	2,27E-05	2,97E+01

Tabel 1: Thermische eigenschappen van enkele veel voorkomende materialen.

#### Voorbeeld: betonwand van een brandcompartiment

Kan een betonwand van 200 mm dikte gedurende het eerste kwartier van een brand als thermisch dik of thermisch dun worden beschouwd?

#### Antwoord

De karakteristieke thermische geleidingsdiepte bedraagt (zie tabel 1): 0,03 [m].

Zodra de dikte de grenswaarde van 60 mm overschrijdt kan het materiaal dus als thermisch dik worden beschouwd. Dat is hier het geval.

Wanneer de scheidingsconstructie geen enkelvoudige, massieve constructie is, maar uit verschillende materiaallagen is opgebouwd, moet voor de thermische traagheid  $b$  het volgende worden aangehouden:

- indien de grootte  $b$  van het niet-direct blootgestelde materiaal (2) groter is dan die van het direct blootgestelde materiaal (1), dus:  $b_2 > b_1$ , geldt voor de samengestelde constructie:  $b = b_1$ .
- in het andere geval, dus:  $b_2 < b_1$ , hangt de grootte  $b$  samen met de navolgende thermische geleidingsdiepte van materiaal (1):

$$S_{1,lim} = \sqrt{\alpha \cdot t_d} \quad (13)$$

Hierin in  $t_d$  de brandduur tot aan het begin van de doofperiode.

De thermische traagheid volgt nu uit:

- Indien  $S_1 > S_{1,lim}$ :  $b = b_1$
- Indien  $S_1 < S_{1,lim}$ :  $b = \frac{S_1}{S_{1,lim}} b_1 + (1 - \frac{S_1}{S_{1,lim}}) b_2$  (14)

De thermische eigenschappen van veel bouwmaterialen zijn afhankelijk van de temperatuur van het materiaal. Meestal wordt temperatuur-onafhankelijkheid verondersteld (zie tabel 1). Tabel 2 geeft in dit verband beter op de praktijk aansluitende waarden voor enkele veel voorkomende bouwmaterialen.

materiaal	eigenschappen (grootheden)				
	$\theta$	$\lambda$	$c_p$	$\rho$	$\lambda \rho c_p$
	[°C]	[W/m.K]	[J/kg.K]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[W <sup>2</sup> .s/m <sup>4</sup> .K <sup>2</sup> ]
grindbeton	20	2,000	900	2300,0	4,14E+06
	200	1,630	1020	2300,0	3,82E+06
	500	1,210	1165	2300,0	3,24E+06
	1000	0,830	1290	2300,0	2,46E+06
lichtbeton	20	1,000	840	1500,0	1,26E+06
	200	0,875	840	1500,0	1,10E+06
	500	0,688	840	1500,0	8,67E+05
	1000	0,500	840	1500,0	6,30E+05
staal	20	54,000	425	7850,0	1,80E+08
	200	47,000	530	7850,0	1,96E+08
	500	37,000	666	7850,0	1,93E+08
	1000	27,000	650	7850,0	1,38E+08
calcium-silicaatplaten	20	0,069	750	450,0	2,33E+04
	250	0,079	955	450,0	3,40E+04
	450	0,095	1060	450,0	4,53E+04
	1050	0,157	1440	450,0	1,02E+05
hout	20	0,170	1110	450,0	8,49E+04
	250	0,170	1125	450,0	8,61E+04
	450	0,170	1135	450,0	8,68E+04
	1050	0,170	1165	450,0	8,91E+04
metselwerk	20	1,000	1110	1800,0	2,00E+06
	200	1,020	1125	1800,0	2,07E+06
	500	1,180	1135	1800,0	2,41E+06
	1000	1,400	1165	1800,0	2,94E+06
glas	20	0,780	840	2700,0	1,77E+06

Tabel 2: Thermische eigenschappen van enkele bouwmaterialen, afhankelijk van de temperatuur

## 7.3 Convectief warmtetransport

### Stromingstransport

Eendimensionaal warmtetransport als gevolg van lucht- en rookstroming, komt bij voorbeeld voor in een tunnel. De warmtestroomdichtheid door een willekeurige doorsnede van de tunnel kan (in de lengterichting x) als volgt worden beschreven:

$$q_x = \rho_{x,y,z} \cdot v_{x,y,z} \cdot c_p \cdot (T_{x,y,z} - T_o) \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (15)$$

Dit geeft voor de warmtestroom:

$$Q_x = \int \rho_{x,y,z} \cdot v_{x,y,z} \cdot c_p \cdot (T_{x,y,z} - T_o) dydz \text{ [W]} \quad (16)$$

Wanneer in de doorsnede  $A_x$  de grootheden constant, dus niet plaatsafhankelijk van de coördinaten  $(x,y,z)$  worden verondersteld, kan voor de warmtestroom worden geschreven:

$$Q_x = \rho_o \cdot v_{x;o} \cdot c_p \cdot A_x (T_{gem,x} - T_o) \text{ [W]} \quad (17)$$

Ofwel, voor de warmtestroomdichtheid:

$$q_x = \rho_o \cdot v_{x;o} \cdot c_p \cdot (T_x - T_o) \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (18)$$

Hierin is:

- $Q$  warmtestroom
- $q$  warmtestroomdichtheid
- $\rho$  soortelijke massa van het lucht/rook mengsel
- $v$  lichtsnelheid
- $c_p$  soortelijke warmte van het lucht/rook mengsel
- $A$  oppervlakte
- $T$  temperatuur

Indices:

- $x,y,z$  positie van de grootheid in de tunnel
- $o$  op de instroompositie
- $x$  in x-richting (lengterichting), of loodrecht op de lengterichting (doorsnede)
- $gem$  gemiddelde waarde

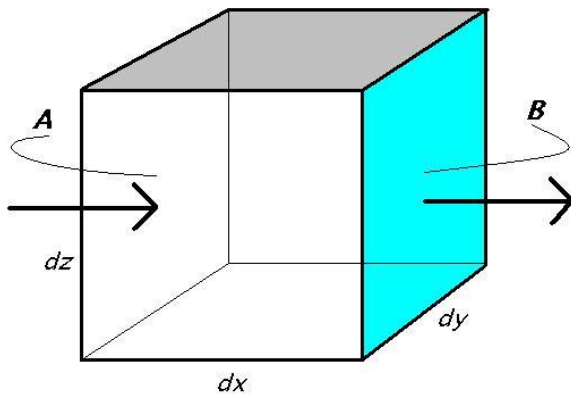
Omdat bij lucht/rookstroming de inkomende massa van het stromingsmedium gelijk moet zijn aan de uitgaande massa van het stromingsmedium, verminderd met de eventuele massatoename in het stromingsmedium, kan voor het stromingstransport in één richting geschreven worden (zie figuur 10):

$$(\rho_{in} v_{in} - \rho_{uit} v_{uit}) \cdot dt + (\rho_{in} - \rho_{uit}) \cdot dx = 0 \quad (19)$$

Dit wordt wel de massawet genoemd, in een willekeurig volume-elementje kan geen massa verloren gaan (behoud van massa). Deze massawet leidt, iets netter geschreven, bij eendimensionaal stromingstransport tot:

$$\partial(\rho v) \cdot \partial t + \partial \rho \cdot \partial x = 0$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho v_x) = 0 \quad (20)$$



Figuur 4: Warmtetransport (stroming) door een volume-element van kleine afmetingen.

Uitgebreid naar drie dimensies wordt vergelijking (20) geschreven als:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{u} = 0 \quad (21)$$

Hierin is:

- $\mathbf{u}$  snelheidsvecotor ( $v_x, v_y, v_z$ )
- $t$  tijd [s]

Behalve behoud van massa in het volume-elementje van figuur 10 is ook behoud van (rook)deeltjes, behoud van impulsmoment en behoud van energie van belang. Deze vier “behoudswetten” vormen de basis van hydrodynamische berekeningen. Dergelijke berekeningen zijn niet alleen geschikt voor vloeistofstromingen maar ook voor stromingen in gassen en lucht.

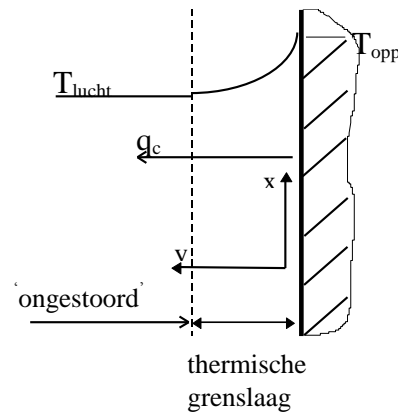
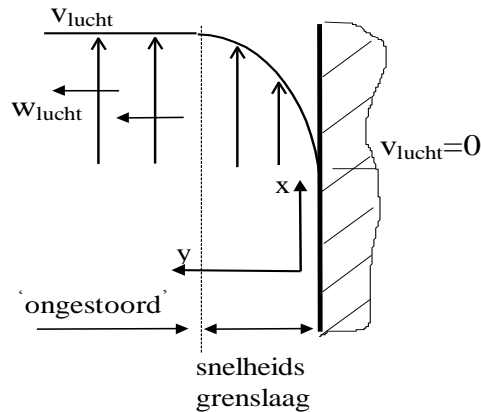
Het zal duidelijk zijn dat hiermee een ingewikkeld stelsel vergelijkingen wordt opgesteld voor elk volume-elementje. Numerieke oplossing hiervan is alleen mogelijk met behulp van computersimulaties; vandaar ook de naam Computational Fluid Dynamics (CFD).

### Convectieve warmte-afgifte

Wanneer een oppervlak aan bij voorbeeld het medium lucht of water grenst, zal – indien er een temperatuurverschil tussen het oppervlak en het medium bestaat – uitwisseling van warmte tussen medium en oppervlak plaatshebben.

In de figuren 5a en 5b is een situatie geschetst, waarbij lucht langs een warmere wand stroomt. Langs de wand vormt zich een grenslaag. Aan de rand van deze grenslaag is de snelheid gelijk aan die van de ongestoorde stroming, terwijl aan de vaste wand de snelheid gelijk aan nul zal worden (figuur 5a).

Het warmtetransport is vergelijkbaar met het impulstransport, zodat er ook een thermische grenslaag ontstaat, waarin de temperatuur in de ongestoorde stroming overgaat in de temperatuur van de vaste wand (figuur 5b).



Figuur 5a: Snelheidsverloop nabij wand.

Figuur 5b: Temperatuurverloop nabij wand.

Het warmtetransport van de wand naar de ongestoorde stroming wordt behalve door de fysische eigenschappen van het stromend medium door de snelheid van de stroming en de temperatuurgradiënt in de grenslaag bepaald.

Om dit warmtetransport op eenvoudige wijze te kunnen karakteriseren, wordt een convectieve warmteoverdrachtscoëfficiënt  $\alpha_c$  ingevoerd en is het warmtetransport van wand naar stromend medium als volgt gedefinieerd:

$$q_c = \alpha_c (T_{opp} - T_{med}) \quad (22)$$

Waarin:

$\alpha_c$  convectieve warmteoverdrachtscoëfficiënt in  $W/m^2K$

$T_{opp}$  oppervlaktetemperatuur in K

$T_{med}$  temperatuur van het stromende medium in K

Er is onderscheid te maken tussen twee vormen van convectie:

- gedwongen convectie;
- vrije convectie.

Bij gedwongen convectie is er sprake van een opgelegde stroming langs een oppervlak. Voorbeelden hiervan zijn de warmteoverdracht van de buitenoppervlaktetemperatuur van gevels naar de buitenlucht bij enige wind en de warmteoverdracht van lucht in ventilatiekanalen naar de pijpwand.

Vrije convectie treedt op als de luchtbeweging alleen wordt veroorzaakt door het temperatuurverschil tussen oppervlak en medium en er geen opgelegde stroming is. Heel vaak heeft men te maken met een combinatie van vrije en gedwongen convectie.

Wanneer de door een groot temperatuurverschil opgewekte stroming groot is ten opzichte van de opgelegde stroming overheerst de vrije convectie. Denk hierbij aan de convectieve warmteoverdracht van een radiator. De luchtsnelheid in de kamer is klein, zodat de luchtsnelheid langs de radiator wordt bepaald door de opstijgende warme lucht ten gevolge van het grote temperatuurverschil tussen radiatoroppervlak en omringende lucht.

Weliswaar wordt er over convectief transport gesproken, maar in het proces speelt ook de warmtegeleiding een rol. In de hierboven gedefinieerde  $\alpha_c$  zijn dus beide mechanismen samengenomen. Meestal is de luchtsnelheid zo groot, dat het convectief warmtetransport het transport door geleiding overheerst ( $\lambda_{\text{lucht}} = 0,023 \text{ W/mK}$ ). Alleen bij zeer lage luchtsnelheden (bij vrije convectie ten gevolge van kleine temperatuurverschillen) wordt het warmtetransport in lucht bepaald door de geleiding.

Groote–orden warmte–overdrachtscoëfficiënt:

- “geen” of weinig wind (binnenconditie)  $\alpha_c \approx 0,5 \text{ tot } 3$
- brand (binnenconditie)  $\alpha_c \approx 20$
- gemiddelde wind buiten  $\alpha_c \approx 20$
- storm buiten  $\alpha_c \approx 200$

## 7.4 Warmtetransport door straling

Warmtetransport door straling bestaat uit energietransport door elektromagnetische golven. Het gaat om een relatief klein deel van het elektromagnetische spectrum, variërend van zichtbaar licht tot diep infrarood; dit komt overeen met golflengten tussen  $\lambda = 0,4$  en  $100 \mu\text{m}$ . Voor dit warmtetransport is geen transportmedium noodzakelijk, het komt dus ook in een vacuüm voor.

Stralingsoverdracht is vooral belangrijk bij hoge temperaturen (vanaf circa  $400 \text{ }^\circ\text{C}$ ); bij lagere temperaturen overheerst het convectieve warmtetransport. Bij een temperatuur van het stralingsvlak van  $550 \text{ }^\circ\text{C}$  wordt ook in het zichtbare gebied zoveel straling geëmitteerd dat dit waarneembaar is als een rode gloed. Bij een verdere temperatuurverhoging verandert de kleur van het stralende vlak (zie tabel 3).

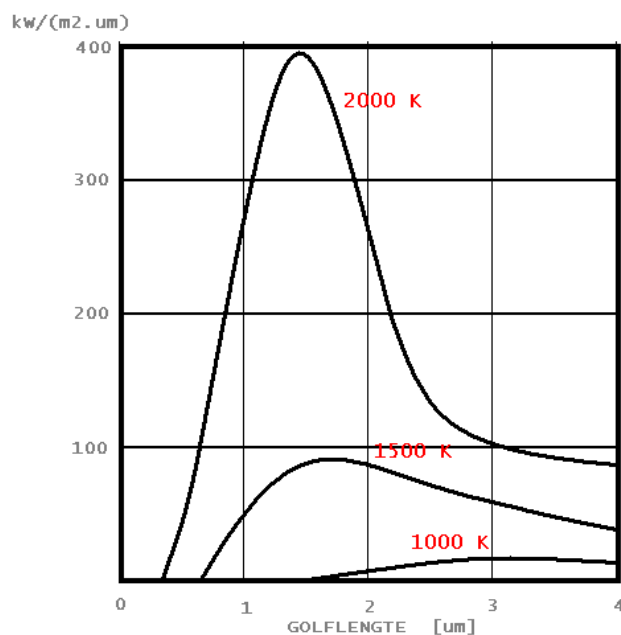
temperatuur [°C]	Kleur
550	juist zichtbare rode gloed
700	vol rood
900	Kersenrood
1100	Oranje
1400	Wit

Tabel 3: Zichtbare kleur van hittestralende objecten.

De kleurverandering is het gevolg van de verandering van het spectrum van de emissie. De maximale stralingsvermogensdichtheid wordt bereikt bij een kortere golflengte, naarmate de temperatuur toeneemt, zoals beschreven in de “verschuivingswet van Wien”:

$$\lambda_{\max} T = 2,9 \times 10^3 [\mu\text{m} \cdot \text{K}] \quad (23)$$

Zo bevindt zich het maximum bij een temperatuur van 1000 K, bij een golflengte van  $\lambda_{\max} = 2,9 \mu\text{m}$ . Bij 2000 K is dit  $\lambda_{\max} = 1,45 \mu\text{m}$  (zie figuur 6).



Figuur 6: Emissie van een zwarte straler als functie van golflengte en temperatuur.

Het emissievermogen over het hele spectrum van een zwarte straler wordt verkregen door integratie tussen de golflengten  $\lambda = 0$  en  $\lambda = \infty$  :

$$E_b = \int_0^{\infty} E_{b,\lambda} \cdot d\lambda \quad (24)$$

De werkelijke emissie zal in het algemeen lager zijn dan die van een zwarte straler. Dit wordt weergegeven met de emissiecoëfficiënt  $\epsilon$ , die golflengte-afhankelijk kan zijn:

$$\epsilon = \frac{E_\lambda}{E_{b,\lambda}} \quad (25)$$

Hierin is  $E_\lambda$  de stralingsvermogensdichtheid van het werkelijk oppervlak tussen  $\lambda$  en  $\lambda+d\lambda$ . Vergelijking (25) gaat daarmee, bij een perfect absorberend lichaam ( $\alpha=1$ , en daarmee ook  $\epsilon=1$ ) over in:

$$E = \epsilon \sigma T^4 \quad [\text{W}/\text{m}^2] \quad (26)$$

De grootte  $\sigma$  wordt de “constante van Stefan-Boltzmann” genoemd ( $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$ ).

Voor twee evenwijdige, oneindig grote vlakken, met temperaturen  $T_1$  van het stralende vlak en  $T_2$  van het ontvangende vlak, en bijbehorende emissiefactoren  $\epsilon_1$  en  $\epsilon_2$  gaat vergelijking (26) over in:

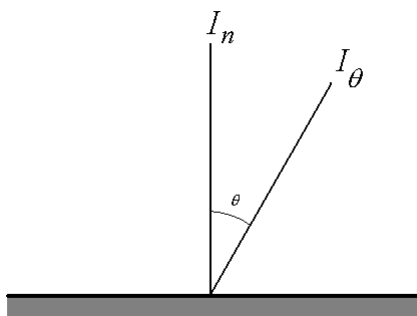
$$E = \epsilon_{res} \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad [\text{W}/\text{m}^2] \quad (27)$$

Hierin is:

$$\frac{1}{\epsilon_{res}} = \frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1$$

De oppervlakte van een stralend vlak zendt warmtestraling uit in diverse richtingen. Wanneer de stralingsintensiteit loodrecht op het oppervlak  $I_n$  bedraagt, dan is de intensiteit in de richting  $\theta$  gelijk aan:

$$I_\theta = I_n \cos \theta \quad (28)$$



Figuur 7: Stralingsintensiteit in diverse richtingen vanuit het oppervlak.



Geïntegreerd over de halve ruimtehoek (de totale zichthoek vanaf de oppervlakte van het vlak is de binnenzijde van een halve bol), geldt voor de totale emissievermogensdichtheid:

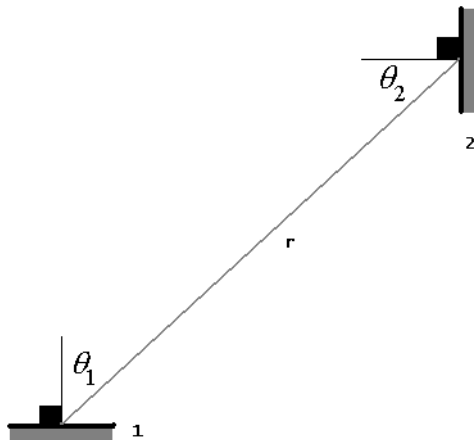
$$E = \pi I_n \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (29)$$

Bij de stralingsuitwisseling tussen twee willekeurig georiënteerde vlakjes gaat het doorgaans slechts om een relatief kleine ruimtehoek. Voor de stralingsuitwisseling tussen de twee vlakjes kan worden geschreven (van vlakje 1 naar vlakje 2):

$$q = E \cdot \int_0^{A_1} \frac{\cos \theta_1 \cos \theta_2}{\pi r^2} \cdot dA_1$$

$$q = \phi E \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (30)$$

Hierin is  $\phi$  de zicht- of blikfactor. Figuur 8 geeft dit schematisch weer.

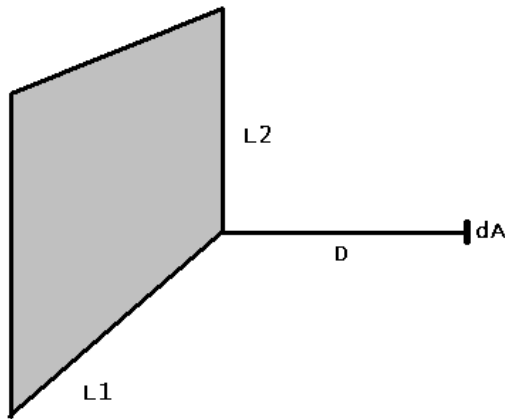


Figuur 8: Stralingsuitwisseling, afhankelijk van de zichtfactor.

Het bepalen van de zichtfactor is gecompliceerd. Vanuit een klein vlakje  $dA$  gezien is de zichtfactor dat gedeelte van de halve bol dat door de projectie van het stralende vlak wordt belemmerd. Feitelijk is dit het eenvoudigst te bepalen met behulp van bolcoördinaten in plaats van cartesische coördinaten.

Uiteraard zijn hiervoor diverse hulpmiddelen ontwikkeld. Tabel 4 vormt een dergelijk hulpmiddel. Hiermee is het mogelijk om in een willekeurig punt, gelegen in een vlak op een vaste afstand van het warmtestralend vlak de blikfactor te bepalen. Bij de tabel hoort

figuur 9. Het totale stralende vlak bestaat uit 4 van deze deelvlakken (kwadranten), zie figuur 10. Door sommatie van de 4 bijbehorende zichtfactoren uit tabel 4 wordt de totale zichtfactor bepaald.



Figuur 9: Ontvangvlakje  $dA$  op de normaal vanuit een hoekpunt van het stralend vlak  $L1 \times L2$  (zie tabel 4 voor de zichtfactoren).

A	S=1	S=0,9	S=0,8	S=0,7	S=0,6	S=0,5	S=0,4	S=0,3	S=0,2	S=0,1
10,0	0,231	0,231	0,231	0,230	0,228	0,226	0,222	0,215	0,204	0,177
5,0	0,215	0,215	0,214	0,213	0,211	0,207	0,201	0,190	0,176	0,144
4,0	0,208	0,208	0,207	0,205	0,203	0,199	0,193	0,181	0,166	0,133
3,0	0,197	0,197	0,196	0,194	0,191	0,186	0,180	0,168	0,152	0,120
2,0	0,178	0,178	0,177	0,175	0,172	0,167	0,161	0,149	0,132	0,102
1,0	0,139	0,138	0,137	0,136	0,133	0,129	0,123	0,113	0,099	0,075
0,9	0,132	0,132	0,131	0,130	0,127	0,123	0,117	0,108	0,094	0,075
0,8	0,125	0,125	0,124	0,122	0,120	0,116	0,111	0,102	0,089	0,067
0,7	0,117	0,116	0,116	0,115	0,112	0,109	0,104	0,096	0,083	0,063
0,6	0,107	0,107	0,106	0,105	0,103	0,100	0,096	0,088	0,077	0,058
0,5	0,097	0,096	0,096	0,095	0,093	0,090	0,086	0,080	0,070	0,053
0,4	0,084	0,083	0,083	0,082	0,081	0,079	0,075	0,070	0,062	0,048
0,3	0,069	0,068	0,068	0,068	0,067	0,065	0,063	0,059	0,052	0,040
0,2	0,051	0,051	0,050	0,050	0,049	0,048	0,047	0,045	0,040	0,032
0,1	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,027	0,026	0,024	0,021
0,09	0,026	0,026	0,026	0,026	0,025	0,025	0,025	0,024	0,022	0,019
0,08	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,022	0,022	0,020	0,017
0,07	0,021	0,021	0,021	0,021	0,020	0,020	0,020	0,019	0,018	0,016
0,06	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,017	0,017	0,017	0,016	0,014
0,05	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,014	0,014	0,013
0,04	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,011	0,010
0,03	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,008
0,02	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
0,01	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003

Tabel 4: Waarden van de zichtfactor  $\Phi$  voor verschillende waarden van  $\alpha$  en S.

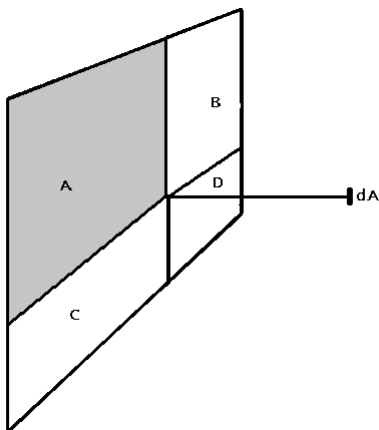
Hierin is:

$$\alpha = (L_1 \times L_2) / D^2$$

$$S = L_2 / L_1$$

Het totale gevelvlak bestaat uit vier kwadranten (zie figuur 5). De totale zichtfactor wordt simpelweg verkregen door de zichtfactoren van de vier kwadranten bij elkaar op te tellen:

$$\phi_{\text{totaal}} = \phi_A + \phi_B + \phi_C + \phi_D \quad (21)$$



Figuur 10: De totale warmtestraling in dA bestaat uit de som van de warmtestraling vanuit de vier verschillende kwadranten.

Uit symmetrie-oogpunt kan worden gesteld:

$$\phi_{ABCD} = 4 \cdot \phi_{AKHG} = 4 \cdot (\phi_{AEFG} - \phi_{KEFH})$$

Uit tabel 4 volgt:

$$S_{AEFG} = 0,50 / 1,75 = 0,28; \quad \alpha_{AEFG} = (1,75 \times 0,50) / (5,0)^2 = 0,035; \quad \Phi = 0,0104$$

$$S_{KEFH} = 0,50 / 0,75 = 0,67; \quad \alpha_{KEFH} = (0,75 \times 0,50) / (5,0)^2 = 0,015; \quad \Phi = 0,0045$$

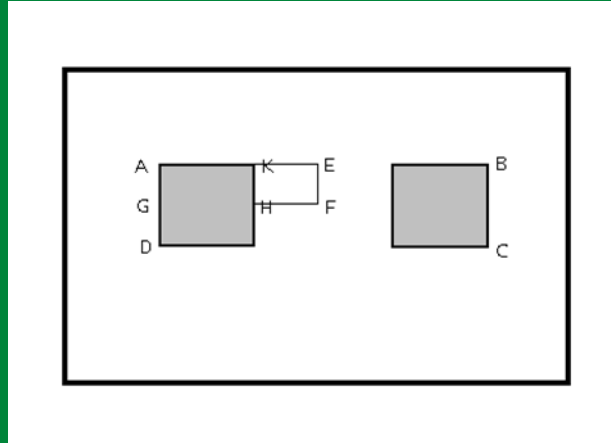
Dus:

$$\Phi = 4 \times (0,0104 - 0,0045) = 0,0236.$$

Bij een bronstraling van 100 kW/m<sup>2</sup> is de ontvangende straling 2,36 kW/m<sup>2</sup>. Deze overschrijdt de grenswaarde van 15 kW/m<sup>2</sup> niet, zodat geen brandwerende voorzieningen noodzakelijk zijn.

### Voorbeeld: scheidingswand van een brandcompartiment

De gevelconstructie van figuur 11 is brandwerend uitgevoerd, met uitzondering van de twee daglichtopeningen. Op een afstand van 5 meter bevindt zich een tegenover liggende gevel. Is dit mogelijk zonder aanvullende voorzieningen aan de daglichtopeningen te treffen?



Figuur 11: Gevel met twee niet-brandwerende (daglicht)openingen.

#### Gegeven

De raamopeningen zijn  $1,0 \times 1,0$  m<sup>2</sup> groot, met een onderlinge afstand van 1,5 m. het totale gevelvlak is  $5 \times 3$  m groot. De bronstraling vanuit de raamopeningen bedraagt  $100$  kW/m<sup>2</sup>. Als grenswaarde voor de ontvangende warmtestralingsflux geldt  $15$  kW/m<sup>2</sup>.

#### Antwoord

Het gaat erom de maximale warmtestralingsflux te toetsen aan de gegeven grenswaarde. De maximale warmtestralingsflux op het tegenovergelegen gevelvlak zal zich midden tussen de twee raamopeningen bevinden. Dit houdt in dat alleen het vlak ABCD beschouwd hoeft te worden.

stralingsflux [kW/m <sup>2</sup> ]	Omschrijving
0,7	zonnestraling op een zomerdag op 52° NB.
1,0	grenswaarde voor (langdurige) blootstelling van de huid zonder schadelijke gevolgen
6,4	pijn na 8 s blootstelling van de huid
10,4	pijn na 3 s blootstelling van de huid
16	verbranding van de huid na 5 s
29	spontane ontbranding van hout bij langdurige blootstelling

Tabel 5: Warmtestralingsflux, enkele kenmerkende waarden.

## 7.5 Toepassing in de praktijk

Het rekenen aan warmtetransport in constructies gebeurt zowel in maatwerkoplossingen brandveiligheid (Fire Safety Engineering) als in standaard oplossingen waarbij de thermische respons van een constructie bepalend is voor het brandbedrag.

Bij draagconstructies kan opwarming van een constructie-element leiden tot bezwijken van dat element, waardoor de kans op bezwijken van de totale draagstructuur toeneemt.

Bij scheidingsconstructies kan opwarming van een constructie-element leiden tot een te hoge warmtetransmissie door straling of geleiding, waardoor gebouwgebruikers aan de niet-verhitte zijde gezondheidsschade kunnen oplopen. Of, nog erger, waardoor brandstof aan de niet-verhitte zijde spontaan tot ontbranding komt. Wanneer dat het geval is treedt branduitbreiding op naar buiten het brandcompartiment en kan een onbeheersbare situatie ontstaan, met alle risico's voor gebouw en omgeving.

## 8. Het verbrandingsproces en de natuurlijke brand

Auteurs: ir. R.A.P. van Herpen FIFireE  
ir. E.W. Janse  
ing. D. den Boer

Het verbrandingsproces is belangrijk omdat dit de bron van de belasting is op personen en constructies in het brandcompartiment, en soms ook daarbuiten. Door begrip te hebben van het verbrandingsproces ontstaat ook inzicht in de thermische belasting, toxische belasting en optische belasting van het binnenmilieu. Feitelijk het begin van branddynamica.

Het doel van dit thema is om inzicht te geven in:

- het verbrandingsproces;
- de consequenties voor mens en constructie.

Het thema is als volgt opgebouwd:

- het verbrandingsproces;
- gecontroleerde verbranding versus brand;
- brandscenario;
- consequenties van het brandscenario voor personen en constructies.

### 8.1 Het verbrandingsproces

Verbranding is oxidatie van een stof, bij hoge temperatuur, waarbij warmte vrijkomt. Het is dus een exotherme reactie. Voor verbranding is nodig:

- de aanwezigheid van brandstof;
- voldoende luchttoevoer in verband met de nodige zuurstof;
- een ontstekingstemperatuur, waarop de brandstof moet worden gebracht;
- omgevingscondities, waardoor de verbranding kan worden onderhouden, als een voortschrijdende kettingreactie.

Als een van deze vier voorwaarden ontbreekt, dan dooft de brand. Daarop zijn brandpreventie en brandblussen gebaseerd.

Brandstoffen zijn te onderscheiden in:

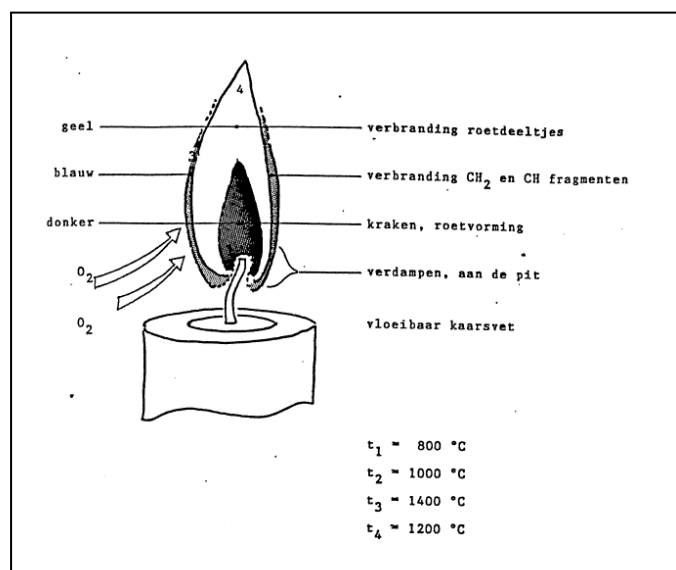
- vaste stoffen (bij voorbeeld hout, textiel, vloerbedekking, asfalt, kunststoffen);
- vloeistoffen (bij voorbeeld olie, benzine, spiritus, alcohol);
- gassen (bij voorbeeld aardgas, mijngas, koolmonoxide);
- aerosolen of stofdeeltjes (bij voorbeeld houtzaagsel, roet, poederkruid, bruinkoolstof).

De producten, die ontstaan bij verbranding zijn:

- warmte (vlammen);
- verbrandingsgassen ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_2$ );
- rook bij onvolledige verbranding (roet, aerosolen).

Rook is zichtbelemmerend en daardoor gevaarlijk; men kan de weg niet meer vinden. De verbrandingsgassen (en dus ook rook) zijn verstikkend en in de regel heet. Eventueel aanwezige koolmonoxide verbindt zich met de rode bloedlichaampjes en verhindert daardoor de zuurstofopname.

De brandstoffen zijn hoofdzakelijk organische stoffen, dus behorend tot de koolstofchemie. Het zijn koolstofketens of ringverbindingen, met waterstofatomen verbonden en sporen van andere elementen. Soms echter zijn elementen brandgevaarlijk, mits voldoende verdeeld, zoals plaatstaal en aluminium, waarvan evenwel de ontstekingstemperatuur hoog ligt (ca.  $1500\text{ }^\circ\text{C}$ ).



Figuur 1: Kaarsvlam

kleuren bij verbranding		
	$^\circ\text{C}$	K
vuurrood	900	1170
Oranje	1100	1870
Wit	1400	1670

Tabel 1: Kleuren en temperaturen.

Hoe het verbrandingsproces verloopt, is goed te beschrijven aan de hand van een kaarsvlam (zie figuur 1). Circa 4 à 5% van de ontwikkelde warmte straalt terug naar de kaars. Daardoor smelt een deel van het kaarsvet en wordt capillair opgezogen via de pit.

Boven in de pit verdampt het kaarsvet en gaan de moleculen steeds sneller bewegen door de energietoevoer. In de reactiezone diffundeert zuurstof naar binnen en worden de kaarsvetmoleculen gekraakt (ze vallen uiteen in kleinere moleculen of atomen).

Veel ervan zal verbranden tot CO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>O, maar bij het kraken komen in de regel roetdeeltjes vrij (blauwe zone). Door de voldoende hoge temperatuur zullen deze roetdeeltjes ook verbranden tot CO<sub>2</sub>; dit gebeurt in het lichtgevende gele deel van de vlam.

Bij de berekening van alle processen gaat men altijd uit van:

- de wet van behoud van massa;
- de wet van behoud van energie;
- andere (thermodynamische, chemische of fysische) wetmatigheden.

Wanneer een controlevlak om de kaarsvlam wordt getrokken, kan beoordeeld worden wat erin komt en wat eruit gaat (stationaire beschouwing):

De massawet kan eenvoudig beschreven worden:

$$\text{Massa (brandstof + lucht) = massa verbrandingsgassen} \quad (1a)$$

De verbrandingsgassen bestaan uit CO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>O, bij volledige verbranding van een koolwaterstof brandstof (in dit geval kaarsvet).

Voor de energiewet is het wat moeilijker. Er ontstaat verbrandingswarmte, per massa-eenheid kaarsvet. Een deel daarvan wordt gebruikt voor het onderhouden van het proces, het andere deel komt vrij naar de omgeving:

$$\begin{aligned} \text{Verbrandingswarmte + energie in toegevoerde lucht} &= \text{energie voor:} \\ &(\text{smelten + capillair transport + verdampen + kraken}) + \text{straling naar de omgeving +} \\ &\text{warmteafvoer via de verbrandingsgassen naar de omgeving} = \text{proceswarmte +} \\ &\text{omgevingswarmte} \end{aligned} \quad (1b)$$

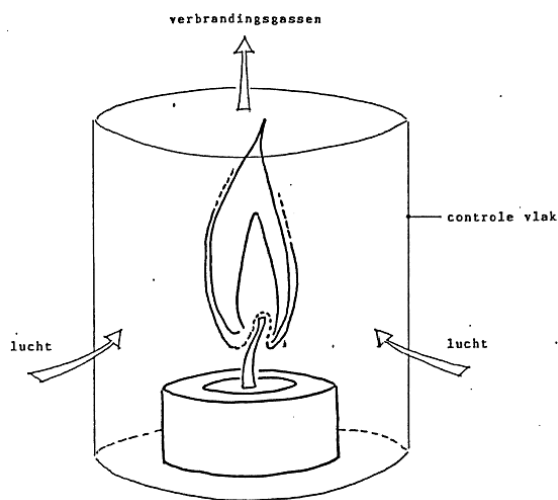


Bij de berekening van verbrandingsgassen wordt van de volgende begrippen gebruik gemaakt; men onderscheidt boven- en onderverbrandingswaarde:

De bovenverbrandingswaarde  $Q_b$  is de warmte die vrijkomt bij volledige verbranding van 1 kg of 1  $m^3$  voor de betreffende droge stof (of gas) in lucht (of zuurstof), waarbij de verbrandingsgassen afgekoeld worden tot de begintoestand (de barometerdruk en 20 oC) en de ontstane waterdamp is gecondenseerd.

De onderverbranding  $Q_o$  is de bovenverbranding minus de condensatiewarmte van het gevormde water.

Een normaal kubieke meter ( $m^3$ ) is 1  $m^3$  van een betreffend gas bij 101.325 kPa (1 atmosfeer) en 273.15 K (0 oC), in volkomen droge toestand. Van een ideaal gas heeft 1 kMol een volume van 22,4  $m^3$



Figuur 2: Controlevlak rond de kaarsvlam.

Circa 4 à 5% van de verbrandingswarmte is nodig voor het onderhoud van het proces, dus ongeveer 95% komt vrij naar de omgeving in de vorm van straling en convectieve warmteoverdracht door de verbrandingsgassen.

Bij de andere brandstoffen verloopt het proces net zo, met dien verstande dat:

- vaste stoffen, als hout, niet smelten en verdampen, maar rechtstreeks vergassen (kraken);
- vloeistoffen alleen verdampen en kraken;
- gassen direct met het krakingsproces beginnen;
- in de regel geen capillair transport (via de pit) plaatsvindt.

Een brandstof is des te gevaarlijker naarmate:

- de verbrandingswarmte per kg (of per  $m^3$ ) hoger is;
- de verhouding van verbrandingswarmte/ vergassingswarmte groter is;

- de naar het brandende oppervlak terug gestraalde warmte groter is (voor het onderhoud van het proces);
- de ontstekingstemperatuur laag is.

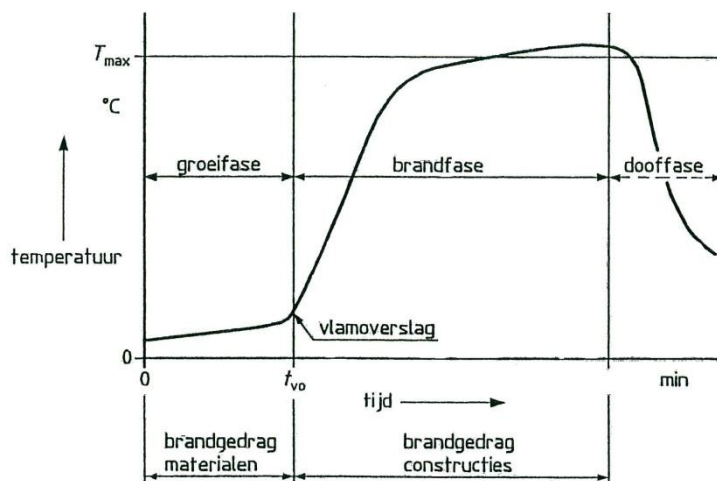
Verder spelen een rol:

- de oppervlakte/ volumeverhouding van het materiaal (verbranding is een oppervlakteverschijnsel);
- de temperatuurvereffening in het materiaal (afhankelijk van de warmtegeleidingscoëfficiënt  $\lambda$  (W/m.K), de soortelijke warmte  $c$  (J/kg.K), de soortelijke massa  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>):

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \cdot c};$$

- de productie van giftige gassen;
- de mate van rookontwikkeling;
- de uitbreidingsnelheid van de brand.

Dit laatste is geen eenvoudig begrip, maar aangezien brand een oppervlakteverschijnsel is, kan gesteld worden dat de warmteontwikkeling evenredig moet zijn met het brandend oppervlak. De branduitbreiding over dit oppervlak is exponentieel. In figuur 3 is dit in een grafiek globaal weergegeven. In de praktijk is er sprake van een groeifase A (smeulen), een exponentieel toename (brandfase B) en een dooffase C door gebrek aan brandstof of zuurstof, of veranderde omgevingscondities. In een besloten ruimte zal de temperatuurtoename een dergelijk beeld geven.



Figuur 3: Verschillende stadia bij brand.

## 8.2 Gecontroleerde verbranding versus brand

In de industrie maakt men gebruik van verbrandingsprocessen – die men beheerst laat verlopen – om zoveel mogelijk profijt van te trekken (ketels, verbrandingsmotoren, etc.).

Hier hebben wij echter te doen met ongewenste en onbeheerste verbranding, waarvan wij de eigenschappen moeten kennen om de veiligheid in gebouwen te kunnen bevorderen. Daarvoor moet onderscheid gemaakt worden tussen volledige verbranding, waarvoor voldoende, of een overschot aan zuurstoftoevoer nodig is, en onvolledige verbranding door een te lage temperatuur of onvoldoende zuurstof, waardoor koolmonoxide en roet ontstaan.

### Verbrandingsgassen en energie

Brandstof (vuurlast in gebouwen) bestaat in hoofdzaak uit C, H en O atomen. Om inzicht in het proces te krijgen, worden de sporen van andere elementen verwaarloosd, die in de brandstof voor kunnen komen. Ook wordt het vochtgehalte van de brandstof verwaarloosd, hetgeen eigenlijk niet toelaatbaar is door het afkoelend effect daarvan, maar het verandert niets aan de volgende redenering, wanneer wordt uitgegaan van droge brandstof. Als uitgangspunt wordt gehanteerd dat 1 kmol gasvormige stof een volume inneemt van 22,4 m<sup>3</sup> (normaalvolume bij 1 atm en 0 °C), respectievelijk dat de lucht bestaat uit 79 volumeprocenten N<sub>2</sub> en 21 volumeprocenten O<sub>2</sub>. Dan kan worden beoordeeld wat de verbranding van de elementen C en H oplevert, met de theoretisch benodigde hoeveelheid lucht (stochiometrische verbranding).

Het resultaat is dat bij volledige verbranding van 1 kg koolstof in de lucht 33,8 MJ aan warmte vrijkomt en dat er, afgerond,  $5/12 \times 22,4$  m<sup>3</sup> verbrandingsgassen ontstaan (zie rekenvoorbeeld in 2.2).

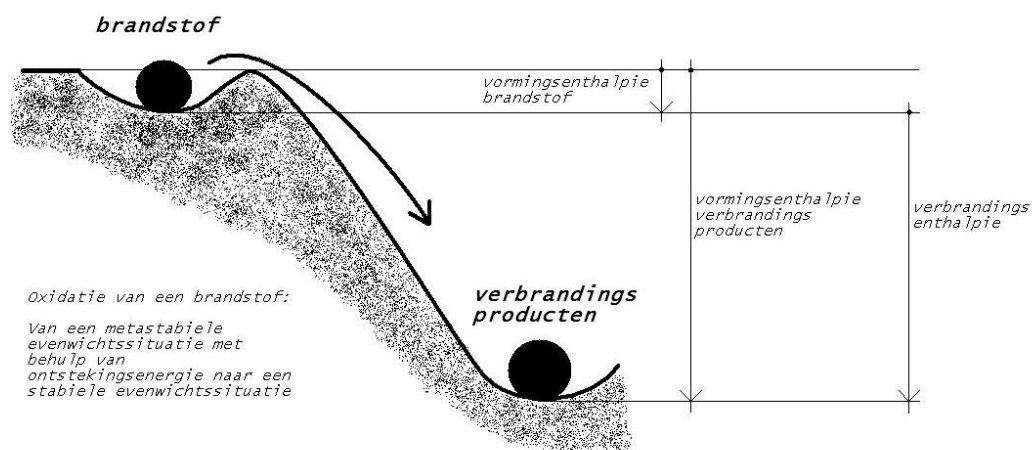
Bij onvolledige verbranding van 1 kg koolstof tot koolmonoxide komen vrij 10,2 MJ aan warmte en ontstaan  $3/12 \times 22,4$  m<sup>3</sup> verbrandingsgassen. De warmteontwikkeling is dan tot ca. 1/3 gedaald en de hoeveelheid rookgassen tot 3/5, ten opzichte van volledige verbranding van koolstof.

Bij verbranding van waterstof tot waterdamp komt per kg H<sub>2</sub> 122,6 MJ vrij (dit is de onderverbrandingswaarde) en ontstaan  $18/12 \times 22,4$  m<sup>3</sup> rookgassen. Waterstof levert dus, ten opzichte van volledige verbranding van koolstof, circa 3,6 maal zoveel warmte op, maar ook 3,6 maal zoveel verbrandingsgassen. (Milieutechnisch is het gunstig als een brandstof een grote waterstof/ koolstof verhouding heeft).

Als de verhouding nu niet plaatsheeft met de theoretisch benodigde luchthoeveelheid, dan zal het overschot aan lucht zich ook in de verbrandingsgassen bevinden; deze gassen zullen daardoor in temperatuur dalen.

De verbrandingswaarde van een brandstof (in MJ/kg) wordt bepaald uit de verbrandingsenthalpie van de brandstof (in MJ/kMol). In het voorbeeld wordt deze bepaald uit de vormingsenthalpieën van de verbrandingsproducten. Wanneer de brandstof uit moleculen bestaat die uit meerdere elementen zijn opgebouwd moeten de vormingsenthalpieën van de verbrandingsproducten worden verminderd met de vormingsenthalpie van de brandstof. Dit is gelijk aan de enthalpie die nodig is om de moleculen van de brandstof te kraken.

In figuur 4 is visueel gemaakt hoe de brandstof in een metastabiel evenwicht bij verbranding in verbrandingsproducten op een lager energieniveau (stabiel evenwicht) wordt omgezet.



Figuur 4: Onder invloed van ontstekingsenergie wordt de brandstof uit het metastabiele evenwicht gebracht en kan het oxideren tot de verbrandingsproducten. De stabiele evenwichtstoestand bevindt zich op een lager energieniveau. Bij verbranding wordt dus energie geleverd.

## Rekenvoorbeeld

### Berekening theoretisch benodigde luchthoeveelheid

1 kMol van een gas heeft een volume van  $22,4 \text{ m}_n^3$ .

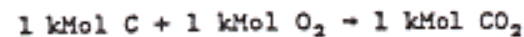
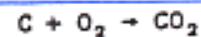
lucht bevat: ca. 79%  $\text{N}_2$  (volumeprocenten)

en 21%  $\text{O}_2$

Atomaire massa C = 12

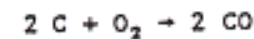
O = 16

H = 1



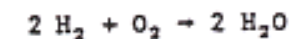
$$1 \text{ kg C} + \frac{1}{12} \times \frac{100}{21} \times 22,4 \text{ m}_n^3 \text{ lucht} \rightarrow \frac{1}{12} \times 22,4 \text{ m}_n^3 \text{ CO}_2 + \frac{1}{12} \times \frac{79}{21} \times 22,4 \text{ m}_n^3 \text{ N}_2$$

Daarbij:  $Q_0 = 33,8 \text{ MJ/kg}$



$$1 \text{ kg C} + \frac{1}{24} \times \frac{100}{21} \times 22,4 \text{ m}_n^3 \text{ lucht} \rightarrow \frac{1}{12} \times 22,4 \text{ m}_n^3 \text{ CO} + \frac{1}{24} \times \frac{79}{21} \times 22,4 \text{ m}_n^3 \text{ N}_2$$

Daarbij:  $Q_0 = 10,2 \text{ MJ/kg}$



$$1 \text{ kg H}_2 + \frac{1}{4} \times \frac{100}{21} \times 22,4 \text{ m}_n^3 \text{ lucht} \rightarrow \frac{1}{2} \times 22,4 \text{ m}_n^3 \text{ H}_2\text{O} + \frac{1}{4} \times \frac{79}{21} \times 22,4 \text{ m}_n^3 \text{ N}_2$$

Daarbij:  $Q_0 = 122,6 \text{ MJ/kg}$

---

De theoretische (stochiometrische) luchthoeveelheid is de benodigde lucht om 1 kg ( $\text{lm}_n^3$ ) brandstof volledig te verbranden.

Luchtfactor	$n = 1$	stochiometrische luchthoeveelheid
	$n > 1$	luchtvermaat
	$n < 1$	luchtondermaat

## Warmtebalans en warmteverliezen

Wanneer de warmteverliezen door geleiding, bij voorbeeld via de vloer, worden verwaarloosd, dan wordt de energiebalans per kg brandstof als volgt:

Stel dat het warmteverlies door geleiding te verwaarlozen is.

Dan geldt:

$$Q_o = Q_c + Q_s \quad (2)$$

Hierin is:

$Q_o$	onderverbrandingswaarde	(J);
$Q_c$	de in de rookgassen afgevoerde (convectieve) warmte	(J);
$Q_s$	de door straling afgevoerde warmte	(J).

$$Q_c = \rho \cdot C_p \cdot V(T - T_o) \quad (3)$$

Hierin is:

$\rho$	soortelijke massa rookgassen	(kg/ m <sub>n</sub> <sup>3</sup> );
$C_p$	soortelijke warmte rookgassen	(J/kg.K);
$V$	volume rookgassen	(m <sub>n</sub> <sup>3</sup> );
$T$	temperatuur van de rookgassen	(K);
$T_o$	omgevingstemperatuur	(K).

$$Q_s = A \cdot \text{constante} (T^4 - T_o^4) \quad (4)$$

Hierin is:

$A$	oppervlakte van de brand	(m <sup>2</sup> )
-----	--------------------------	-------------------

$$\text{Constante} = \varepsilon_b \cdot \varepsilon_o \cdot \tau \cdot F_{b \rightarrow o} \quad (5)$$

Hierin is:

$\varepsilon_b$	emissiefactor van het vuur;
$\varepsilon_o$	emissiefactor van de omgeving;
$\tau$	constante van Boltzmann = $5,67 \cdot 10^{-8}$ W/m <sup>2</sup> .K;
$F_{b \rightarrow o}$	hoekfactor (zicht- of geometrische factor) van de brand naar de omgeving.

Meestal zijn  $\varepsilon_b$  en  $\varepsilon_o$  ongeveer 0,9 à 0,95 en  $F_{b \rightarrow o}$  ongeveer 1, zodat de constante ongeveer  $(4,6 \text{ à } 5,1) \cdot 10^{-8}$  bedraagt bij een rookvrije brand.

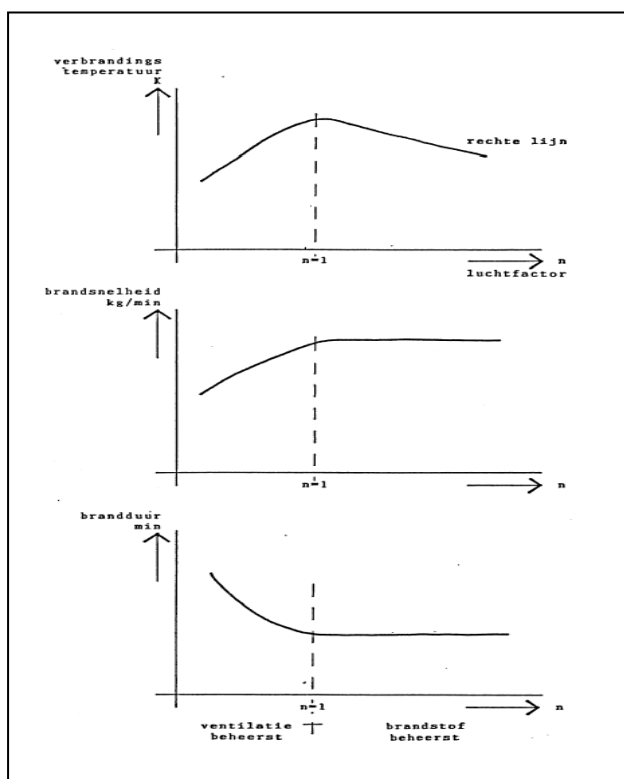
## Luchtfactor

Als onvoldoende  $O_2$  aanwezig is, dan ontstaat er CO en wordt er minder warmte ontwikkeld. Als een vlam teveel afkoelt, dan ontstaat roet. Voor een beheerste verbranding is een geringe luchtvermaat en een goede menging van brandstof en lucht nodig (luchtvermaat = 1,1 à 1,3).

Bij een onbeheerste verbranding gebeurt alles tegelijk:

- Plaatselijk is er onvoldoende  $O_2$  aanwezig en elders een overschot. In de rookgassen komen dus CO,  $CO_2$  en  $O_2$  gezamenlijk voor.
- Plaatselijk ontstaat door afkoeling (door de omgeving of door teveel koude luchttoevoer) roet.
- Door de aanwezigheid van CO,  $O_2$  en roet kunnen de rookgassen een explosief gasmengsel vormen.

Met voorgaande beschouwingen kunnen globaal enige eigenschappen van een brand beschreven worden. De theoretisch benodigde luchthoeveelheid om de brandstof te kunnen verbranden moet worden geleverd door de openingen van de brandruimte. Als brandstof en lucht (zuurstof) in precies de goede verhouding aanwezig zijn is de luchtfactor gelijk aan 1. Wanneer deze verhouding kleiner is treedt onvolledige verbranding op (zie figuur 5).

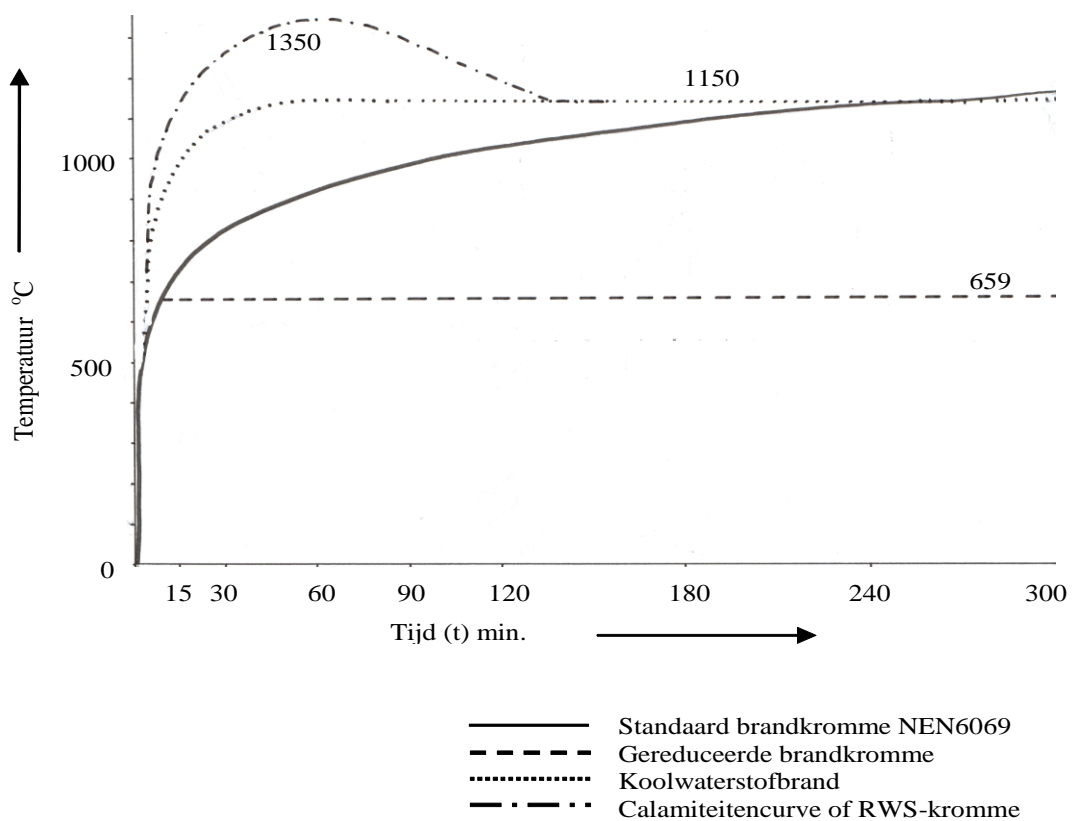


Figuur 5: De luchtfactor bepaalt of een brand brandstofbeheerst of ventilatiebeheerst is.

### 8.3 Brandscenario: temperatuur vs. brandvermogen

Voor de bepaling van de brandwerendheid van constructies wordt in de Nederlandse (maar ook in de internationale) regelgeving uitgegaan van een door de brand opgelegde tijdsafhankelijke temperatuur op deze constructies, de zogenaamde standaard brandkromme. Deze heeft een oorsprong in de beginjaren van de vorige eeuw en past niet meer bij een benadering die recht doet aan onze kennis over brand.

Naast deze standaard brandkromme worden in Nederland ook andere brandkrommen gehanteerd bij het stellen van (privaatrechtelijke) eisen aan de brandwerendheid van constructies (zie figuur 6). Deze brandkrommen hebben met elkaar gemeen dat het gaat om een opgelegde tijdsafhankelijke temperatuur op de betreffende constructies.



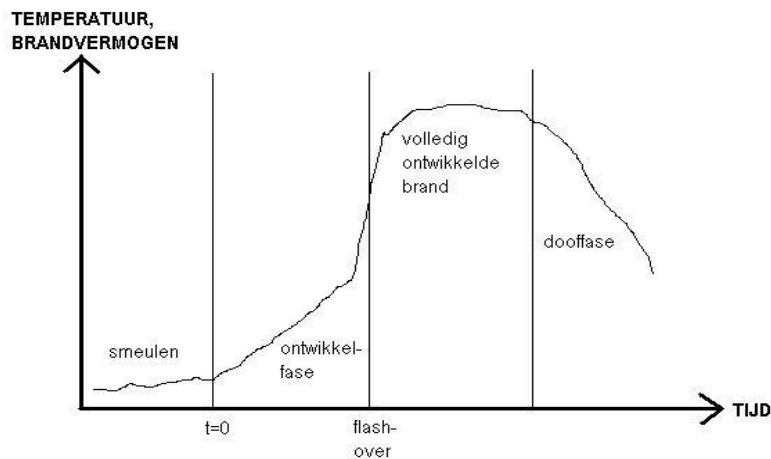
Figuur 6: Brandverloop volgens genormeerde brandkrommen.

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 7 is een voorbeeld gegeven van een meer realistisch brandverloop. De grootte op de verticale as in deze figuur is het brandvermogen. 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



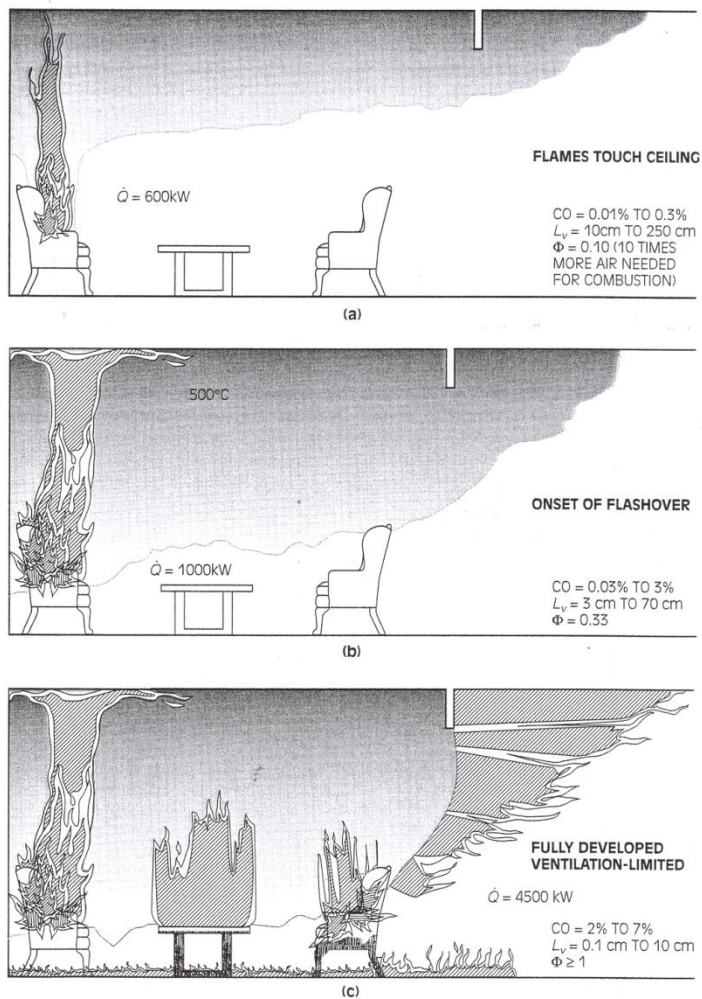
Figuur 7: Realistisch brandverloop bij brand in een ruimte.

#### Brandscenario: fasen in het brandverloop

In het brandvermogenverloop volgens figuur 7 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 flashover in de brandruimte optreedt;
- de volledig ontwikkelde brand, die na het optreden van de flashover ontstaat;
- de dooffase die na verloop van tijd optreedt als gevolg van brandstoftekort of actieve onttrekking van het brandvermogen (blussing).

In figuur 8 is dit brandverloop schematisch door middel van drie momentopnamen in een brandruimte weergegeven.



Figuur 8: 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.

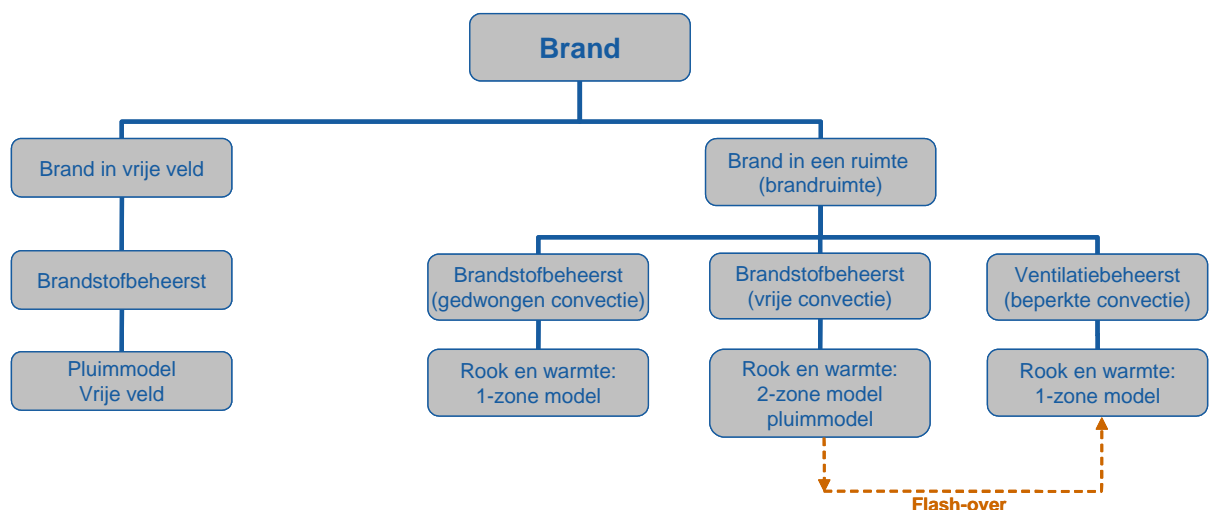
Flashover treedt op wanneer de hete zone zo heet wordt, dat de hierin aanwezige brandstof spontaan ontbrandt, of dat de warmtestralingsflux vanaf de hete zone zo groot wordt dat alle in de brandruimte aanwezige brandstof spontaan ontbrandt. Dit geeft in korte tijd een grote toename van het brandvermogen. 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.

## 8.4 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 stroomschema van figuur 9.



Figuur 9: Stroomschema voor bepaling van het brandscenario.

In het stroomschema van figuur 9 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 flashover).

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 9 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.

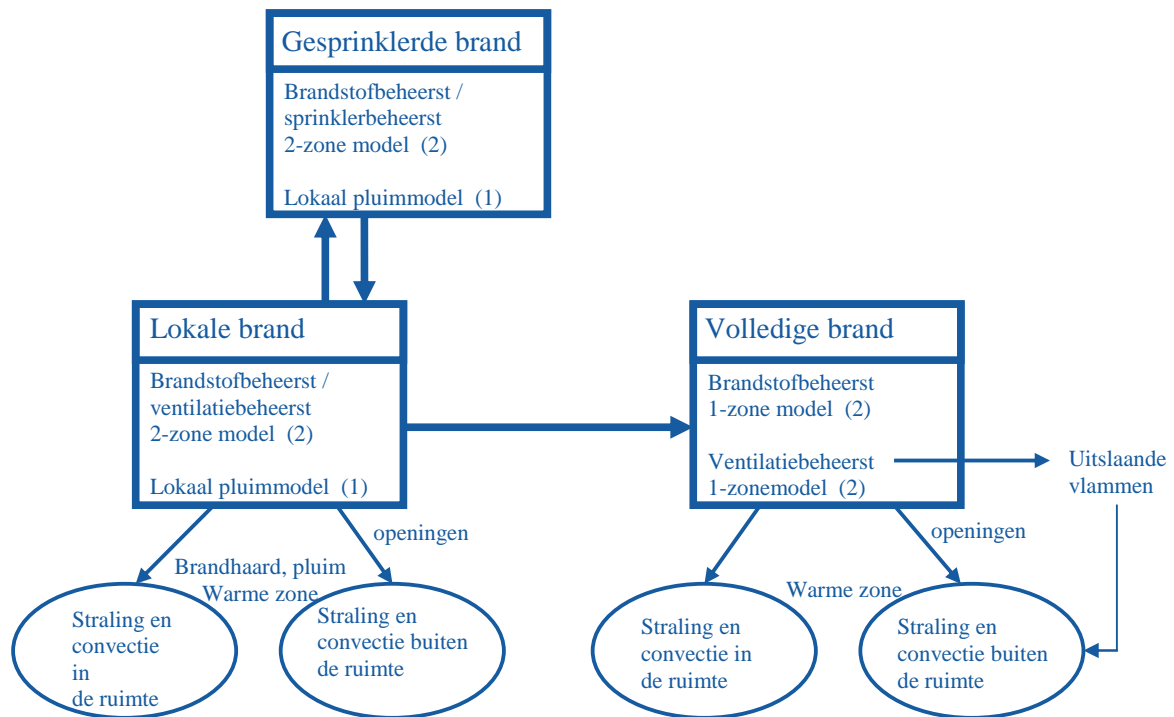
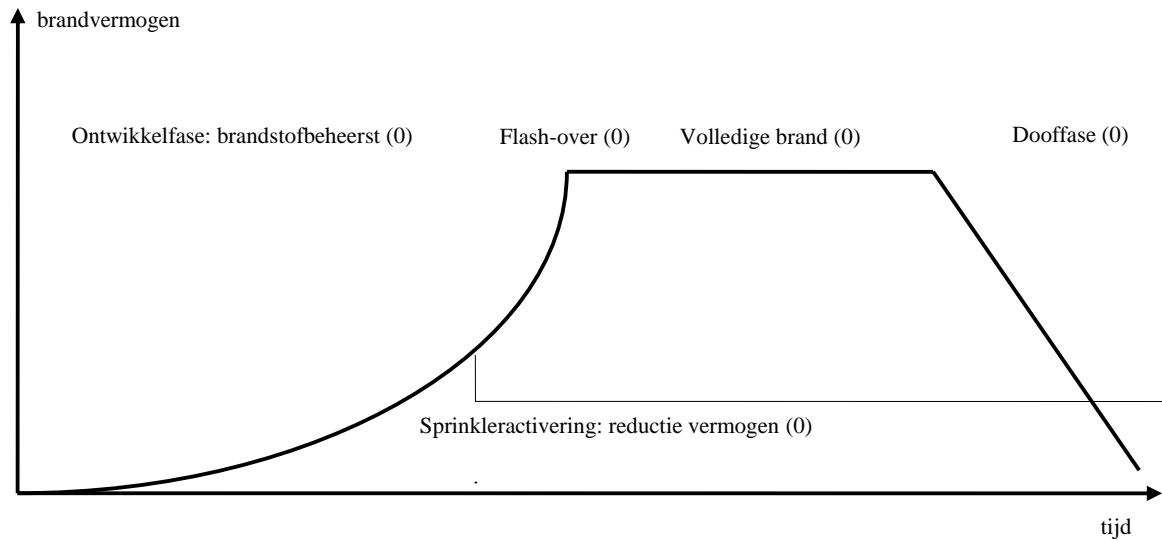
Wanneer het brandscenario volgens figuur 9 is vastgesteld, kunnen vervolgens de thermische actoren (warmtebelasting door straling en convectie) voor constructies en personen worden bepaald, ten gevolge van het afgegeven vermogen van de brandhaard. Belangrijk hierbij is om de verdeling tussen het convectief 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 hetzelfde brandscenario af. Het rookpotentieel van de brandstof moet daarbij bekend zijn.

Deze consequenties voor personen en constructies zijn weergegeven in figuur 10. 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 uitslaande

vlammen. Deze uitslaande 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 10: Bepaling van de thermische actoren (warmtebelasting door straling en convectie) en binnenmilieu-actoren (rookdichtheid en zichtlengte) als gevolg van een gegeven brandscenario.

Er zijn rekenmodellen beschikbaar (zoals CFAST, OZone) die gebaseerd zijn op dit zogenaamde natuurlijk brandconcept. Verwezen wordt verder naar normblad NEN 6055, waarin de diverse aspecten zijn uitgewerkt, zoals:

- de massastromen in de rookpluim, van brandhaard naar rooklaag;
- de warmteverliezen door straling en convectie vanuit de warme rooklaag, aan constructies zoals het plafond;
- de massastromen die via ventilatieopeningen kunnen toe- en uitstromen. Daarbij zijn de drukverschillen belangrijk die ten gevolge van brand ontstaan tussen de brandruimte en de omgeving.

Ook voor veldmodellen (CFD: computational fluid dynamics) is deze theorie van toepassing.

## 8.5 Toepassing bouwkunde

Met natuurlijke branden wordt gerekend in grote compartimenten, waar personen en een lokale brand gelijktijdig aanwezig kunnen zijn. In dat geval ontstaat een hete zone (rooklaag) bovenin de brandruimte die op een bepaald moment vanwege de rooklaagdikte of de rooklaagtemperatuur bedreigend wordt voor mensen. De gebouwgebruikers moeten de brandruimte ontvlucht zijn voordat dergelijk bedreigende condities optreden.

Wanneer eenmaal flashover is opgetreden is geen verblijf meer mogelijk in de brandruimte. Die post-flashover fase is vooral interessant voor de draag- en scheidingsconstructies. Met het natuurlijk brandconcept is het mogelijk om de thermische belasting op constructies meer realistisch uit te rekenen dan op basis van de standaard brandkromme mogelijk is.

## 8.6 Bronnen

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).

Kom  
verder



# MODULE 5

## Hoofdstuk 9

### Gedrag van constructies bij brand

**Leerdoel:**

Inzicht in de respons van constructies en constructie-elementen op een brandscenario.



## 9. Gedrag van constructies bij brand

Auteur: ir. B. Kersten

Met constructiegedrag onder brandcondities is niet alleen bedoeld op het bezwijkrisico van draagconstructies en scheidingsconstructies, maar ook of de constructie gaat meebranden, of juist aan de oppervlakte een snelle brandgroei veroorzaakt of veel rookproductie veroorzaakt. Feitelijk moet eerst het gedrag van de materialen waaruit de constructie is opgebouwd bekend zijn voordat iets zinnigs over het constructiegedrag kan worden gezegd.

Het doel van dit thema is om inzicht te geven in:

- gedrag van materialen, blootgesteld aan brand;
- gedrag van constructies onder brandcondities en consequenties voor het mechanisch of thermisch falen van een constructie.

Het thema is als volgt opgebouwd:

- introductie;
- brandgedrag van materialen en materiaaloppervlakten;
- brandwerendheid van scheidingsconstructies;
- brandwerendheid van draagconstructies;
- gebouwinrichting;
- doorvoeren.

### 9.1 Inleiding

In de bouw worden zeer veel verschillende materialen toegepast. Voor al deze materialen geldt dat zij op de een of andere manier reageren op een brand. Sommige materialen zullen direct vlamvatten en gaan mee branden terwijl andere materialen alleen opwarmen maar verder eigenlijk geen interactie aangaan met een brand.

Bij de keuze voor materialen in de bouw is kennis over het brandgedrag ervan essentieel. Soms mogen bijvoorbeeld specifieke materialen helemaal niet worden toegepast omdat ze bijvoorbeeld te snel branden of teveel rook produceren. Anderzijds kunnen materialen die goed bestand zijn tegen brand goed worden toegepast om een brand tegen te houden of om een belasting te dragen.

Het gedrag van materialen bij brand kan op verschillende manieren worden beoordeeld. In hoofdlijnen komt dit neer op de volgende indeling:

1. Het gedrag van het materiaal aan de oppervlakte. Hierbij gaat het erom hoe snel een vlam zich over een oppervlak kan uitbreiden, hoeveel rook hierbij vrijkomt en of er druppelvorming optreedt.
2. Het kunnen tegenhouden van een brand. Hierbij gaat het om de vraag of bijvoorbeeld een wand of een deur zodanig kan worden uitgevoerd dat een brand een bepaalde tijd kan worden tegengehouden.
3. Het kunnen dragen van een belasting bij brand. Bepalend hierbij is of bijvoorbeeld een vloer of een kolom bij brand voldoende sterk blijft om een belasting te dragen.

Uiteraard zit er een zekere overlap tussen deze verschillende aspecten. In veel gevallen zal een materiaal waarbij een vlam zich gemakkelijk kan uitbreiden ook minder goed toegepast kunnen worden als brandscheiding. Anderzijds kunnen bij onbrandbare materialen zodanige effecten optreden (zoals vervormingen) dat zij toch niet goed als brandscheiding functioneren. De verschillende aspecten zullen daarom altijd afzonderlijk moeten worden beoordeeld.

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op het gedrag van verschillende veel voorkomende soorten materialen bij brand. Vervolgens wordt ingegaan op de verschillende testmethoden en de mogelijkheid om verschillende materialen toe te passen in constructies.

## 9.2 Brandgedrag van veel voorkomende materiaalsoorten

### *Hout*

Bij blootstelling aan hoge temperaturen zal hout in brand raken. Hierbij geldt dat zwaardere houtsoorten minder snel branden dan lichtere houtsoorten. Ook de vorm van het hout heeft invloed op het brandgedrag. Een takje is gemakkelijker in brand te steken dan een blok hout.

Bij verbranding van hout ontstaat op de oppervlakte een koollaag die als een isolator werkt. Deze isolatielaag beschermt het hout en zorgt ervoor dat het inbranden niet zeer snel gaat. Een grove waarde is een inbrandsnelheid van 1 mm/min.

Ondanks dat hout brandt, kan het wel degelijk goed in brandscheidingen worden toegepast. Hout is namelijk een goede thermische isolator waardoor de temperatuur aan de niet-brandzijde niet te hoog zal worden. Een houtdikte van 5 mm is hiervoor al voldoende. Omdat hout wel brandt, zal er rekening mee moeten worden gehouden dat een deel van de oorspronkelijke constructie zal wegbranden. Het resterende deel moet voldoende dik zijn om als brandscheiding of draagconstructie te kunnen functioneren.

Door te berekenen hout er in geval van brand wegbrandt, kan worden berekend hoe dik de constructie voorafgaand aan de brand moet zijn.

### *Steenachtige materialen*

Steenachtige constructies zijn doorgaans goed bestand tegen een brand. De materialen kunnen veel warmte opnemen waardoor met relatief dunne constructies brandscheidingen kunnen worden gerealiseerd. Betonnen constructies halen hun sterkte doorgaans in combinatie met de wapening in het beton. Indien de temperatuur in de wapening teveel oploopt kan de wapening zijn sterkte verliezen. Het is daarom belangrijk dat er voldoende dekking is van het staal. Een ander effect van beton is dat het bij blootstelling aan hoge temperaturen kan gaan spatten waardoor de wapening minder goed beschermd wordt en te warm kan worden. Hierdoor zal wederom het beton zijn sterkte verliezen.

### *Metalen*

Kenmerk van metaal is dat het een goede thermische geleider is en dat het bij hoge temperaturen (boven de 400 °C) zijn sterkte verliest. Daarnaast zet metaal uit op het moment dat het verhit wordt waardoor vervormingen kunnen optreden. Met name vanwege de goede thermische geleiding is metaal als brandscheiding niet zomaar geschikt. Als draagconstructie zal in veel gevallen het metaal moeten worden beschermd om te voorkomen dat de temperatuur in te hoog wordt waardoor de belasting niet meer kan worden gedragen.

### *Kunststoffen*

Kunststoffen zijn er in vele varianten, van zeer brandbaar tot beperkt brandbaar. Als brandscheiding wordt kunststof niet veel toegepast. Wel wordt kunststof toegepast in brandwerende kozijnen.

### *Glas*

Bij blootstelling van hoge temperaturen zal normaal glas al snel breken. De reden hiervoor is dat het glas zal uitzetten en als gevolg van thermische spanningen in het glas treedt vervolgens glasbreuk op. Om glas brandwerend te maken zijn daarom aanpassingen nodig om ervoor te zorgen dat het glas niet breekt. Een mogelijkheid hiervoor is bijvoorbeeld het glas te verharderen of versterken met verstevigingfolies. Hierdoor wordt voorkomen dat bij brand het glas breekt. Ook spiegelraadglas zal in geval van brand heel blijven.

Omdat glas zonder aanpassingen slechts beperkt thermisch isolerend is en ook warmtestraling niet tegenhoudt, bevat brandwerend glas een aantal aanpassingen. Bij de brandwerendheid wordt hier nader op ingegaan.

### 9.3 Brandgedrag oppervlakte materialen

Materialen die snel branden of veel rook produceren kunnen zorgen voor onveilige of onbeheersbare situaties. Toepassing van deze materialen hoeft geen probleem te zijn, mits ze op de juiste plek of op juiste wijze worden toegepast. Naarmate het belang van een ruimte op het brandveiligheidsconcept toeneemt, wordt het belangrijker om te kiezen voor materialen die moeilijk branden. Is er bijvoorbeeld sprake van slechts één vluchtroute, dan is meer zekerheid nodig dat deze ook daadwerkelijk gebruikt kan worden zodat daar gekozen moet worden voor materialen voldoen aan strenge eisen. In een meer standaard verblijfsruimte kan echter gekozen worden voor meer brandbare materialen.

#### Euroklassen

Sinds enkele jaren wordt het brandgedrag van materialen vastgelegd volgens de zogenaamde Euroklassen die zijn vastgelegd in de NEN EN 13501-1. Deze norm bevat zelf geen testmethode maar betreft een indeling in klassen die is gebaseerd op een aantal onderliggende testmethoden. Deze testmethoden bevatten een serie testen waarbij een proefstuk aan verschillende brandscenario's wordt onderworpen en waarbij verschillende metingen worden uitgevoerd. Afhankelijk van de (te verwachten) classificatie moeten meerdere testen worden doorlopen.

De beoordeling van Euroklassen is geldig binnen de gehele EU. Dit betekent echter niet automatisch dat de toepassing van materialen binnen de EU gelijk is. De diverse landen mogen namelijk zelf bepalen wanneer welke eis van toepassing is. In Nederland worden bijvoorbeeld geen eisen gesteld aan de vorming van druppels bij de verbranding van materiaal.

Er wordt onderscheid gemaakt in de volgende klassen (conform de NEN EN 13501-1):

- Brandvoortplanting: A1, A2, B, C, D, E en F;
- Rookproductie: s0, s1, s2 en s3;
- Druppelvorming: d0, d1 en d2.

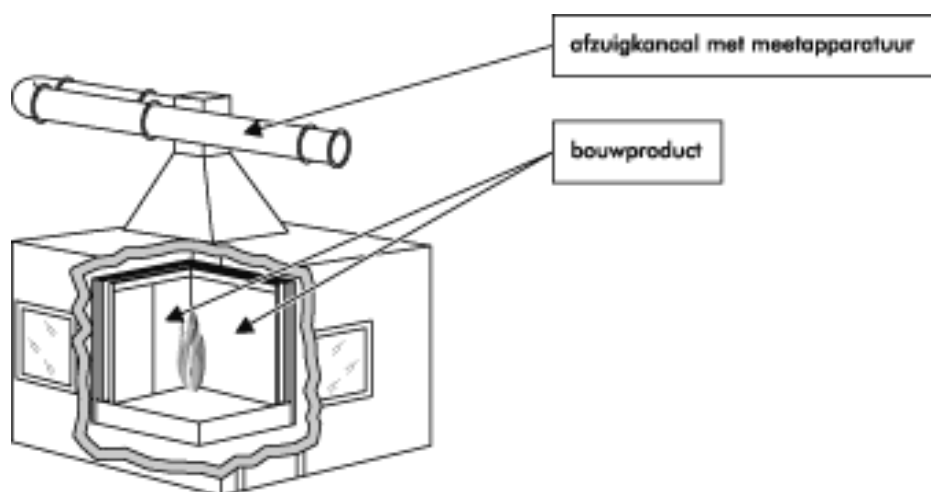
Materialen die voldoen aan klasse A1 zijn niet brandbaar terwijl materialen die voldoen aan klasse F zeer brandbaar zijn. In Nederland mogen als afwerking alleen materialen worden toegepast die voldoen aan klasse D of beter. Materialen die slechter scoren mogen alleen worden toegepast indien zij bijvoorbeeld binnen een gesloten constructie worden toegepast.

De classificatie van het brandgedrag van materialen volgens de NEN EN 13501-1 bestaat uit een serie testen, De brandscenario's van de tests zijn allemaal gebaseerd op een beginnende brand, voor het moment dat flashover optreedt.

### *SBI test*

Eén van de belangrijkste testen binnen de classificatie is de zogenaamde Single Burning Item (SBI) test. Deze test is relevant voor de grote middengroep van bouwproducten. De test is bepalend voor de Euroklassen D, C en B. Voor A2 zijn de testresultaten medebepalend (naast andere tests), en voor A1 indien het geen homogeen materiaal betreft. Ook de rookproductie  $s_1$ ,  $s_2$  en  $s_3$  wordt uit de testresultaten van de SBI afgeleid.

De basis van de SBI test is een kleine beginnende brand (vergelijkbaar met bijvoorbeeld een prullenbak) in een hoek van een kamer. De testmaterialen worden in twee vleugels van 1,5 m (h) x 1,0 m en 1,5 m (h) x 0,5 m op een kar gemonteerd en in de SBI-kamer voor een brander geplaatst. Boven de hoekopstelling bevindt zich een afzuigstelsel en in het afzuigkanaal bevindt zich meetapparatuur. Er is nog een tweede, identieke brander aanwezig, namelijk een ijk- of hulpbrander om het vermogen van de hoofdbrander te kunnen vaststellen. Aan de hand van het verschil kan vervolgens worden vastgesteld welke bijdrage voor rekening van het proefstuk komt.



Figuur 1: Schematische voorstel van een SBI-test. De testmaterialen worden aan twee zijden van een hoek aangebracht, waarbij in de hoek een brand wordt ontstoken (Bron: SBR).

In de eerste twee minuten worden de kleine aansteekvlammen van de branders ontstoken ('nulmeting'). Dan wordt de hulpbrander ontstoken door het openen van de gastoevoer. Drie minuten later wordt de gastoevoer omgeschakeld naar de hoofdbrander, zodat de hulpbrander dooft en de hoofdbrander ontsteekt. Het proefstuk wordt nu thermisch belast en dit wordt in principe gedurende 21 minuten voortgezet.

Tijdens de proef worden er metingen verricht van de temperatuur, de dynamische druk in het afzuigkanaal, de concentratie zuurstof en kooldioxide van de rook, en de intensiteit van licht die (door de rook) doorgelaten wordt .

Bepaald worden de volgende grootheden:

- de FIGRA (fire growth rate, een maat voor de groei van het warmtevermogen in W/s);
- de THR (total heat release, ofwel de warmte-inhoud);
- de SMOGRA (smoke growth rate, ofwel de groei van de rookproductie);
- de TSP (total smoke production, ofwel totale rookproductie);
- de LFS (lateral flame spread, ofwel horizontale vlamuitbreiding); en
- eventuele ' flaming droplets / particles'.

Deze grootheden kunnen alleen via metingen verkregen worden, zodat waarnemingsverschillen tussen verschillende operators geminimaliseerd zijn. Alleen de horizontale vlamuitbreiding en het optreden van druppels wordt visueel vastgesteld door de operator.

De uiteindelijke classificatie wordt behaald op basis van het samenstel van de verschillende beoordeelde aspecten.



Figuur 2: SBI test (Bron: Efectis).

Indien een materiaal een classificatie behaalt die lager is dan gewenst, worden soms stoffen aan het materiaal toegevoegd waardoor het brandgedrag verbetert. Voorbeelden hiervan zijn impregneermiddelen in hout of verandering in de samenstelling van

kunststof zodat de snelheid van brandvoortplanting verbetert. In sommige gevallen hebben deze toevoegingen als nadeel dat het materiaal gaat smeulen waardoor er rook vrijkomt dan zonder deze toevoegingen. Met name bij toepassing in vluchtroutes is dit een ongewenst effect.

### **Brandgevaarlijkheid daken**

De bepaling van het brandgevaarlijk zijn van daken geschiedt op basis van de in NEN 6063 beschreven bepalingsmethode. Bij deze bepaling wordt een proefdak belast met vliegvluur, voorgesteld door middel van een korf met brandende houtwol. De afstand en het oppervlak waarover de brand zich over het proefdak verspreidt, alsmede eventuele doorbranding van het dak, zijn criteria waarop het dak wordt beoordeeld. Afhankelijk van de resultaten van deze proef wordt een dak als wel of niet brandgevaarlijk aangemerkt.



Figuur 3: Test volgens de NEN 6063 om te bepalen of een dak brandgevaarlijk is of niet.

De methode voor het bepalen van het brandgevaarlijk zijn van daken wijkt sterk af van de methode om de brandvoortplanting van bijvoorbeeld gevels te bepalen. Dit betekent dat materialen die voldoen aan de NEN 6063 niet zomaar in gevels mogen worden toegepast. Dakbedekking die doorloopt in de gevel zal zowel aan de eisen van de NEN 6063 moeten voldoen als aan de juiste classificatie volgens de NEN EN 13501-1.

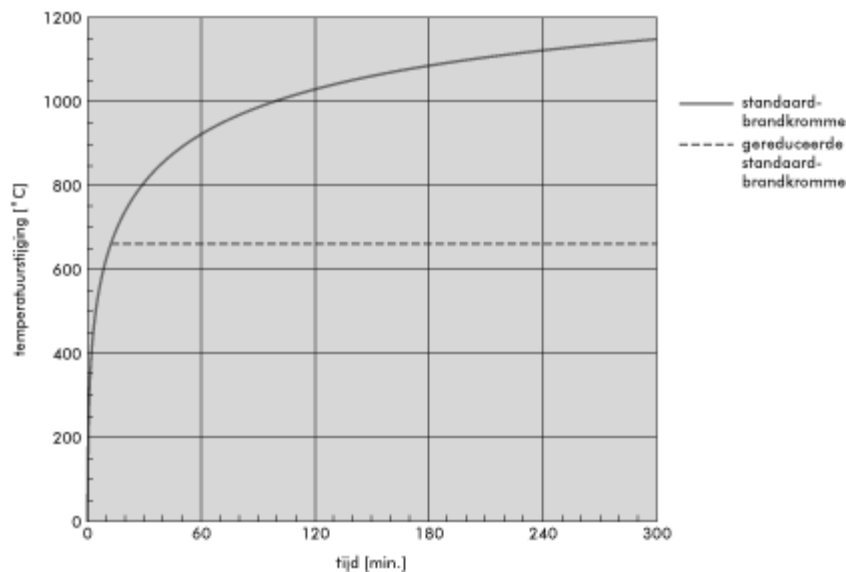


## 9.4 Brandwerendheid met betrekking tot scheidende functie

De brandwerendheid van scheidingsconstructies laat zich in veel gevallen zonder een goede test moeilijk voorspellen. Met name bij samengestelde constructies waar meerdere soorten materialen worden toegepast maakt het verschil in brandgedrag van de verschillende materialen een goede voorspelling onmogelijk. De meeste brandwerende constructies worden daarom getest om te bepalen welke brandwerendheid wordt behaald.

In Nederland is de experimentele bepalingsmethode van de brandwerendheid vastgelegd in de NEN 6069. Basis van deze test is een blootstelling van een constructie, zoals een wand of een deur, aan een de zogenaamde standaard brandkromme (zie figuur 3). Deze brandkromme is gebaseerd op het fictief brandverloop in een besloten ruimte waarbij al binnen enkele minuten flashover optreedt. In sommige specifieke situaties kan of moet gekozen worden voor een alternatieve brandkromme. Bij een thermische belasting in een buitensituatie is het namelijk redelijk om een lagere temperatuur te veronderstellen. In dat geval mag daarom worden uitgegaan van de gereduceerde brandkromme. Deze stijgt in eerste instantie mee volgens de standaard brandkromme maar blijft na verloop van tijd constant.





Figuur 4: De standaard brandkromme en de gereduceerde brandkromme (Bron: SBR).

Om te bepalen of een constructie brandwerend is, moet het tijdens de proef aan verschillende criteria voldoen. Niet bij elke toepassing hoeven al deze criteria van belang te zijn. Een voorbeeld hiervan is het temperatuurcriterium. Dit criterium is bedoeld om te voorkomen dat materialen die zich op of op korte afstand van een brandscheiding bevinden kunnen ontbranden. Indien deze materialen er niet zijn, bijvoorbeeld bij een deur, is het ook niet noodzakelijk om aan deze criteria te voldoen. In de NEN 6069 is precies vastgelegd welk criterium wanneer van toepassing is.

De verschillende criteria worden aangegeven met een hoofdletter. Deze criteria zijn:

- Vlamdichtheid betrokken op de afdichting (aangeduid met E);
- Vlamdichtheid betrokken op ontvlambaarheid (aangeduid met E);
- Thermische isolatie betrokken op de temperatuur (aangeduid met I);
- Thermische isolatie betrokken op de warmtestraling (aangeduid met W).
- Thermische belasting op bezwijken (aangeduid met R)

Indien aan het criterium met betrekking tot de temperatuur wordt voldaan, wordt automatisch ook voldaan aan het criterium voor de warmtestraling (zie verderop).

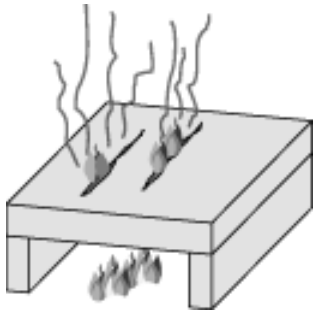
De behaalde brandwerendheid wordt weergegeven in stappen van 15 minuten, waarbij de behaalde werkelijke brandwerendheid naar beneden wordt afgerond. Een constructie die tijdens een test bijvoorbeeld 38 minuten voldoet aan de alle hierboven beschreven criteria, wordt aangeduid als REI30. Voor een constructie kunnen meerdere aanduidingen van toepassing zijn. Een constructie die bijvoorbeeld 38 minuten voldoet aan de criteria afdichting, ontvlambaarheid en warmtestraling maar waarbij het temperatuurcriterium al na 18 minuten wordt overschreden, kan worden aangeduid als EW30 en EI15.

Onderstaand worden de verschillende criteria toegelicht:

### 1. Vlamdichtheid betrokken op de afdichting (E)

Hierbij is het van belang of er in de constructie openingen ontstaan waarbij hete gassen of vlammen door de constructie kunnen komen. De criteria zijn als volgt:

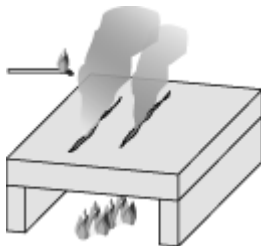
- er ontstaan te grote openingen (doorsnede groter dan 25 mm of een 6 mm brede en 150 mm lange spleet); Dit wordt gemeten door te proberen om een kaliber met de hierboven beschreven afmetingen door de constructie te steken
- aan de niet-verhitte zijde zijn gedurende ten minste 10 seconden onafgebroken vlammen zichtbaar; of
- gedroogde watten ontvlammen aan de niet-verhitte zijde.



Figuur 5: De constructie laat hete gassen en/of vlammen door (Bron: SBR).

### 2. Vlamdichtheid betrokken op ontvlambaarheid (E)

Hierbij is het van belang of de constructie aan de niet-verhitte zijde kan ontbranden. Er wordt niet voldaan indien aan de niet-verhitte zijde van het bouwdeel brandbare gassen ontstaan, die met behulp van een lokvlam ontstoken kunnen worden en zelfstandig gedurende ten minste 30 seconden onafgebroken blijven branden.

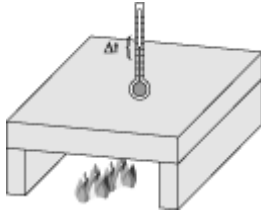


Figuur 6: De constructie kan aan de niet-verhitte zijde worden aangestoken. (Bron: SBR).

### 3. Thermische isolatie betrokken op de temperatuur (I)

Hierbij is het bepalend of de constructie aan de niet-verhitte zijde niet te warm wordt waardoor materialen op of dichtbij de constructie kunnen ontbranden. De criteria zijn:

- De temperatuurstijging gemiddeld over het oppervlak is niet groter dan 140 °C, of
- De temperatuurstijging is lokaal niet groter dan 180° C.

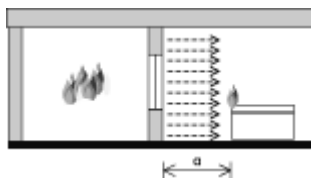


Figuur 7: De temperatuurstijging aan de niet-verhitte zijde mag niet te groot zijn.  
(Bron: SBR).

#### 4. Thermische isolatie betrokken op de warmtestraling (W)

Bepalend hierbij is de warmtestraling aan de niet-verhitte zijde. Bij een te hoge warmtestraling zouden namelijk brandbare materialen op enige afstand van de constructie kunnen ontbranden. Het criterium is:

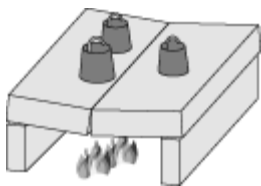
- Een warmtestraling van maximaal  $15 \text{ kW/m}^2$  op een afstand gelijk aan de breedte van het stralende oppervlak (tot een maximum van 1 meter).



Figuur 8: De warmtestraling aan de niet-verhitte zijde mag niet te groot zijn.  
(Bron: Brandveiligheid Ontwerpen en Toetsen deel D van SBR).

#### 5. Bezwijken (R)

Hierbij is het van belang dat de constructie gedurende de brand voldoende sterk blijft dat het de verwachte belasting kan blijven dragen.



Figuur 9: Criteria behorende bij de bepaling van de brandwerendheid van bouwdelen conform NEN 6069.



Figuur 10: Beproeving van de brandwerendheid van een deurconstructie (Bron: Efectis).

## 9.5 Brandwerende constructies

### Hout

Houten deuren of kozijnen worden vaak toegepast in brandscheidingen. Zoals al eerder beschreven is het gedrag van hout redelijk voorspelbaar en kan op basis van de inbrandsnelheid de verwachte brandwerendheid worden bepaald. Bij deze methode wordt echter geen rekening gehouden met eventuele vervormingen van een constructie. Stevig bevestigde constructies zoals kozijnen kunnen daarom wel op deze wijze worden berekend, maar voor deuren gaat dit niet op, omdat een deurblad kan vervormen.

In de NEN 6073 zijn rekenregels opgenomen waarmee de brandwerendheid van houten constructies rekenkundig kunnen worden bepaald. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen de inbrandsnelheid van het soort hout (naaldhout en loofhout) en het soortelijk gewicht van hout. In tabel 1 zijn de verschillende waarden opgenomen voor de inbrandsnelheid van hout.

	Volumieke massa [kg / m <sup>3</sup> ]	Inbrandsnelheid [mm/min]
Naaldhout: Redwood, Red Cedar, Southern Pine	> 300	0,8
Ander naaldhout	> 300	0,8
	> 600	0,55
Loofhout	> 300	0,8
	> 600	0,45

Tabel 1: Inbrandsnelheid hout (bron: NEN 6073).

Bij het daadwerkelijk rekenen aan constructies moeten in sommige gevallen correctiefactoren worden opgenomen voor de inbrandsnelheid. Deze zijn bijvoorbeeld afhankelijk van de vezelrichting in het hout en van de afmetingen van de constructie.

Op basis van bovenstaande waarden mag duidelijk zijn dat voor het bepalen van hoge brandwerendheden moet worden gekozen voor zwaar en / of dik hout. Bij brandwerende kozijnconstructies wordt vaak uitgegaan van een sponningdiepte van 25 mm. Hiermee kan een brandwerendheid van 30 minuten worden behaald, maar 60 minuten is alleen haalbaar indien voor heel zwaar hout wordt gekozen.

## Glas

Brandwerende beglazing is er in hoofdlijnen in twee soorten: glas met een hittede reflecterende coating en glas dat is voorzien van een bij brand opschuimende laag. De hittede reflecterende coating heeft als doel om warmtestraling tegen te houden zodat aan het EW criterium kan worden voldaan. Dit type beglazing voldoet doorgaans niet (of slechts korte tijd) aan het EI criterium. Indien het gewenst is dat wel aan het EI criterium wordt voldaan, moet worden gekozen voor beglazing met een bij brand opschuimend materiaal. Dit materiaal, dat zich tussen de glasbladen bevindt, zal bij brand een isolerende laag vormen waardoor de temperatuurstijging aan de niet-verhitte zijde beperkt wordt.

Bij beglazing die alleen voldoet aan het EW criterium is het belangrijk om te realiseren dat niet altijd oneindig grote oppervlakten zijn toegestaan. Als voorbeeld geldt een raam met afmetingen van 1 x 1 m<sup>2</sup> waarbij de warmtestraling op 1 m afstand ca. 14 kW/m<sup>2</sup> bedraagt. Dit raam voldoet hiermee aan criterium voor warmtestraling. Indien echter op korte afstand van dit raam een zelfde raam wordt geplaatst, zal de totale warmtestraling van beide ramen tezamen de grenswaarde van 15 kW/m<sup>2</sup> overschrijden zodat dan de totale constructie niet meer voldoet aan het EW criterium.

## Metaal

Metaal wordt bij brandscheidingen doorgaans alleen als deur of kozijn toegepast. Hiervoor wordt gekozen voor staal of aluminium. Met stalen profielen kunnen kozijnen tot 60 minuten brandwerendheid worden gerealiseerd. Met aluminium is dit niet zomaar mogelijk. Aluminium heeft namelijk een smeltemperatuur van 660 °C en zal dus bij blootstelling aan de standaard brandkromme na verloop van tijd kunnen smelten als het niet voldoende beschermd wordt. Bij aluminium kozijnen wordt daarom vaak een vulling van bijvoorbeeld cement toegepast die een deel van de warmte absorbeert waardoor het aluminium gekoeld wordt.

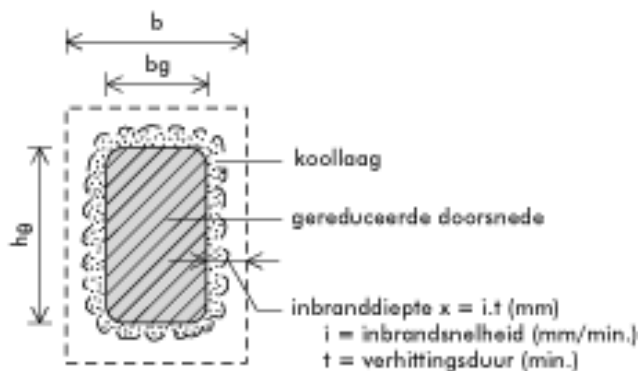
## Steenachtige materialen

Met stenen wanden en vloeren zijn hoge brandwerendheden te behalen. Een kalkzandsteen wand met een dikte van 90 mm is bijvoorbeeld al voldoende voor het behalen van een brandwerendheid van 60 minuten.

## 9.6 Draagconstructies

### Hout

Voor houten constructies geldt dat deze bij blootstelling aan brand deels zullen wegbranden. De resterende constructie (de gereduceerde doorsnede) zal voldoende sterk moeten zijn om de belasting bij brand te kunnen blijven dragen. In figuur 11 is een voorbeeld weergegeven van een vierzijdig verhit bouwdeel (bijvoorbeeld een kolom) waar een deel van het hout is weggebrand.



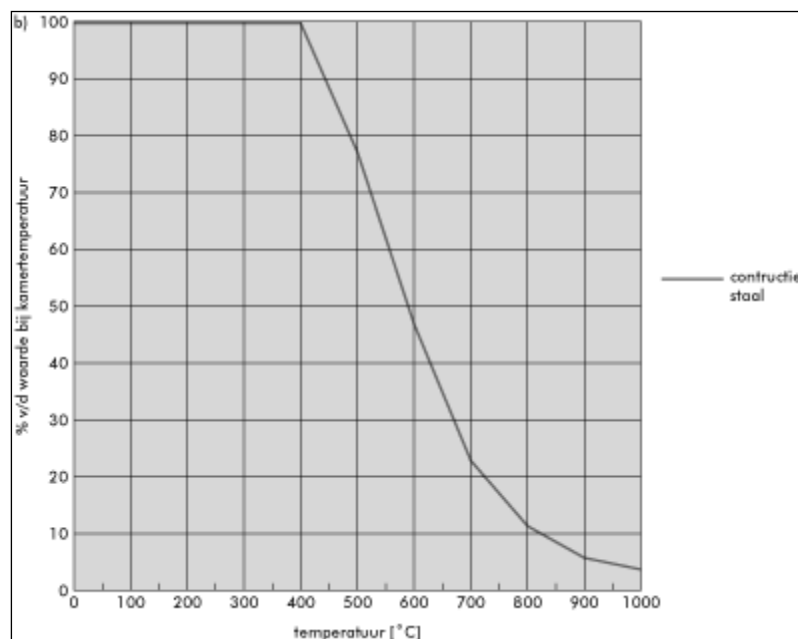
Figuur 11: Voorbeeld inbranden van houten bouwdeel (bron: SBR).

In veel gevallen zullen liggers niet aan alle zijden thermisch worden belast. Indien bijvoorbeeld direct boven de ligger een vloer aanwezig is, zal aan de bovenzijde geen sprake zijn van inbranden. Door bescherming aan te brengen (bijvoorbeeld minerale wol tussen liggers in een plafond) kan het inbranden nog meer worden tegengegaan.

## Staal

Stalen kolommen en liggers zullen bij blootstelling aan hoge temperaturen hun sterkte verliezen en vervolgens kunnen bezwijken. Op welk moment dit gebeurt is afhankelijk van de belasting die de kolom of ligger moet kunnen dragen. De temperatuur waarbij de sterkte niet meer voldoende is om de belasting te dragen, wordt de kritieke staaltemperatuur genoemd. Doorgaans ligt deze kritieke staaltemperatuur tussen de 500 °C en 600 °C. Met behulp van computerprogramma's kan de kritieke staaltemperatuur per constructieonderdeel specifiek worden berekend.

Vanaf een temperatuur van 400 °C begint de sterkte van het staal al af te nemen. In figuur 12 is dit geïllustreerd. Volgens de standaard brandkromme wordt deze temperatuur al snel (binnen enkele minuten) bereikt. Uiteraard duurt het enige tijd voordat de temperatuur in het staal ook zodanig is gestegen dat de constructie ook daadwerkelijk zijn sterkte verliest. Bij onbeschermd staal zal de brandwerendheid tussen de 15 en 30 minuten liggen. Door een constructie zwaarder te ontwerpen dan onder normale omstandigheden noodzakelijk is, kan de kritieke staaltemperatuur verhoogd worden waardoor in sommige gevallen net voldoende brandwerendheid kan worden behaald. Indien een brandwerendheid van meer dan 30 minuten noodzakelijk is, is veelal bescherming noodzakelijk.



Figuur 12: Reductie van de sterkte van staal bij verhoging van de temperatuur. Boven een temperatuur van 400 °C neemt de sterkte af. (bron: SBR).

De bescherming van staalconstructies is mogelijk door ervoor te zorgen dat (een deel) van de constructie niet wordt blootgesteld aan hoge temperaturen. Dit is mogelijk door bijvoorbeeld een kolom in te bouwen in een wand. Hierdoor wordt alleen de flens direct

blootgesteld waardoor het langer duurt totdat de gehele kolom opwarmt. Dit zelfde principe kan uiteraard ook in vloeren worden toegepast.

Ook het beschermen van liggers en kolommen door het aanbrengen van een bekleding of een coating is een mogelijkheid. Bij de laatste oplossing wordt een coating aangebracht die bij brand een isolerende laag vormt die het staal beschermd.



Figuur 13: Voorbeeld beschermde stalen kolom (bron: Promat).

## Beton

Beton heeft de gunstige eigenschap dat het relatief lang duurt voordat het opwarmt bij blootstelling aan brand. Beton heeft namelijk een hoge dichtheid, hoge warmtecapaciteit en een lage warmtegeleidingcoëfficiënt.

De brandwerendheid van beton wordt in principe bepaald door de sterkte van het wapeningstaal in het beton. Voor dit staal geldt hetzelfde als voor stalen constructieonderdelen: boven een bepaalde temperatuur is de sterkte teveel afgenomen en kan de belasting niet meer worden gedragen. Het wapeningstaal wordt echter beschermd door het beton, waardoor de temperatuurstijging in het staal wordt gedempt. Hoe groter de dekking van het beton, hoe hoger de brandwerendheid die kan worden behaald.

Nadeel van beton is dat er sprake kan zijn van spatten in geval van brand. Dit is een gevolg van het water dat zich in de constructie bevindt en dat in geval van brand zal overgaan in stoom. Hierdoor vindt binnen de constructie plaatselijk een grote drukopbouw plaats, zeker indien de stoom niet via bijvoorbeeld kleine poriën naar buiten kan stromen. Het gevolg van deze drukopbouw kan zijn dat aan de oppervlakte delen van beton wegspringen. Hierdoor wordt de dekking van de wapening een stuk kleiner dan oorspronkelijk, waardoor ook de temperatuurverhoging in de wapening



sneller gaat dan oorspronkelijk verwacht. Hierdoor kan de constructie uiteindelijk eerder bezwijken.

### **Inrichting**

Bij een brand in een gebouw spelen niet alleen de materialen van het gebouw zelf een rol. De meeste hoeveelheid brandbaar materiaal betreft doorgaans de inventaris. Het soort materiaal waaruit de inventaris bestaat heeft een grote invloed op het brandverloop in een ruimte.

Ter illustratie zijn in figuur xx twee testopstellingen weergegeven. Dit betreft testopstellingen van twee 'typische' woninginterieurs. Eén interieur betrof een woning uit de jaren '50 en één interieur betrof een woning met hedendaagse inrichting. In de woning uit de jaren '50 was sprake van houten vloerbedekking, houten tafeltjes, katoenen bank, kleden, gordijnen en kussens. In de hedendaagse woning was sprake van vloerbedekking, een bank bestaande uit polyurethaan schuimvulling en polyester bekleding, polyester gordijnen en kussens, houten tafels en kastjes en een kunststof bak met speelgoed. In beide gevallen is de brand gestart door een brandende kaars te plaatsen aan de rechterzijde van de bank.

**Inrichting 50er jaren**



**Hedendaagse inrichting**



Figuur 14: Voorbeelden van woninginrichting.

Uit de tests bleek een zeer duidelijk verschil in brandverloop. In de hedendaagse woning was al na enkele minuten sprake van flashover. Bij de woning uit de jaren '50 was dit pas na ca. 30 minuten het geval. Indien de inrichting in een grotere ruimte werd geplaatst (5,5 x 4 x 2,44 m) dan trad bij de inrichting uit de jaren '50 zelfs helemaal geen flashover op (zie figuur 15).

**Inrichting 50er jaren**



**Hedendaagse inrichting**



Brandontwikkeling na 25 minuten, ---Brandontwikkeling na 3 minuut 30 sec.

Figuur 15: Brandverloop bij verschillende inrichtingen.

Ook voor de toegepaste materialen in meubels geldt dat deze kunnen worden behandeld met toevoegingen zodat de materialen minder goed branden en minder snel in brand kunnen raken. Hierdoor kan het ontstaan van een brand worden voorkomen of de snelheid van brandgroei worden verkleind.

## 9.7 Doorvoeren

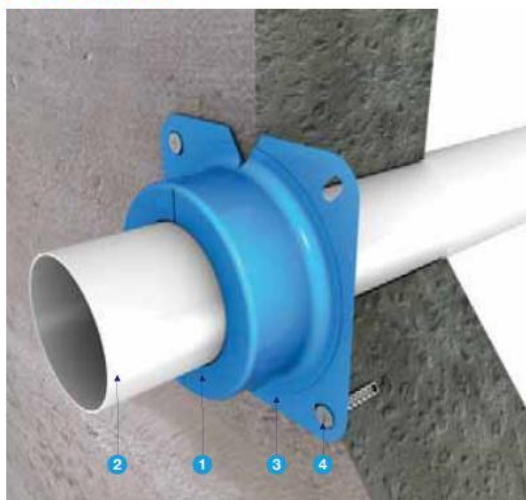
Het realiseren van brandwerende scheidingen is relatief eenvoudig. Zoals beschreven kan met een steenachtige wand al goede brandscheiding worden gerealiseerd. Helaas wordt in de praktijk de brandwerendheid echter vaak teniet gedaan doordat er diverse leidingen en kanalen door brandscheidingen voeren. Doordat deze niet goed worden afgedicht ontstaat een zwakke plek in de brandscheiding. Om wel een goede brandscheiding te realiseren, moet gekozen worden voor een goede afdichting. De keuze voor de afdichting is afhankelijk van de soort leiding of kanaal. Onderstaand wordt hierop ingegaan.

### Kunststof leidingen

In geval van brand zal een kunststof leiding smelten, zodat ter plaatse van een brandwand een gat ontstaat. Indien geen brandwerende voorzieningen worden getroffen, bedraagt de brandwerendheid van een steenachtige wand ter plaatse van de leiding slechts 5 tot 10 minuten. Het is dus van belang dat het gat dat ontstaat na smelten van de leiding snel wordt opgevuld. Dit kan bijvoorbeeld worden gerealiseerd door brandmanchetten aan te brengen rond de leidingen. Deze manchetten zijn voorzien van een materiaal dat bij verhitting opschuimt en het gat vult. Bij het plaatsen van brandmanchetten is het van belang dat de richting van de brandwerendheid bekend is. Manchetten die niet in een muur of wand worden geplaatst, maar er tegenaan, werken doorgaans slechts in één richting. Alleen indien de manchet is geplaatst aan de verhitte zijde zal het opschuimende materiaal snel genoeg het gat vullen. Dit is niet altijd een probleem, bij doorvoeren naar schachten kan vaak worden volstaan met een

brandwerendheid in één richting (naar de schacht). Bij manchetten die in de vloer of wand worden aangebracht, is de richting niet van belang, deze werken doorgaans in twee richtingen.

96-CVB-R0509  
96-CVB-R0510



De PROMASTOP® -A brandmanchet wordt om de kunststofleiding heen geplaatst, vastgeklikt en op de wand vastgezet.

**Technische toelichting:**

- 1 PROMASTOP® -A brandmanchet
- 2 Kunststofleiding (PVC, PE of PP)
- 3 Grondplaat
- 4 Bevestiging - aantal volgens gaten in de grondplaat  
In beton of vol metselwerk: metalen inslagpluggen  
In cellenbeton: schroeven 50 mm  
In gipsplaten: speciale grofdraadschroeven 35 mm

Het aantal te plaatsen PROMASTOP® -A brandmanchetten (één of twee kanten van de muur) hangt af van de gewenste graad van brandwerendheid, van de wandconstructie en van de zijde(n) waar de brand kan ontstaan. Zie de tabel bij het aantal te plaatsen PROMASTOP® -A brandmanchetten per leiding op de vorige pagina.

Figuur 16: Voorbeeld opbouwbrandmanchet voor een kunststof leiding (bron: Promat).

### Metalen leidingen

Bij metalen leidingen speelt de thermische geleiding van de leidingen de belangrijkste rol voor de brandwerendheid. Zonder voorzieningen zal er uiteraard geen gat ontstaan, maar in geval van brand zal de temperatuur van de leiding zo hoog worden dat aan de niet-verhitte zijde brandbare objecten kunnen worden ontstoken. Om te voorkomen dat de temperatuur te snel stijgt, kan een isolatieschaal van minerale wol worden aangebracht. Afhankelijk van de thermische geleiding van de leiding (koper geleidt bijvoorbeeld beter dan staal) moeten de leidingen over een bepaalde afstand (ca. 0,5 tot 0,8 m) tot de brandscheiding worden geïsoleerd. Bij leidingen met een kleine diameter (<60 mm) kan veelal in plaats van een isolatieschaal een endotherme coating worden toegepast. Deze coating isoleert en absorbeert een groot deel van de warmte. De ruimte tussen de leiding en de wand moet netjes worden afgedicht met bijvoorbeeld brandwerende kit.

Opgemerkt wordt dat ter plaatse van rookscheidingen de thermische isolatie geen rol speelt. De sparing rond de leidingen moet wel netjes worden afgedicht, maar de isolatie is niet noodzakelijk.

### Ventilatie schachten (bouwkundig)

Bij bouwkundige schachten (meestal steenachtig) speelt, indien gebruik wordt gemaakt van een collectief afvoersysteem, voornamelijk de verspreiding van rook en warme lucht een belangrijke rol. Zonder voorzieningen zal de rook en warmte die ontstaat in de

woning bij een brand zich via de ventilatieschacht verspreiden naar de andere woningen die zijn aangesloten op deze schacht. Om te voorkomen dat de brand (warme lucht) zich kan verspreiden door het woongebouw kan in de ventilatieopening een brandklep worden toegepast. Omdat in deze situaties echter sprake is van weinig ruimte, kan gebruik worden gemaakt van een brandwerende vlinderklep ter plaatse van het ventilatierooster.

Deze klep zal worden afgesloten indien de lucht door de ventilatieschacht te warm wordt. De ruimte rondom de klep moeten worden afgewerkt met minerale wol en een endotherme coating.



Figuur 17: Binnenzijde brandklep (in geopende toestand). In geval van brand zal de klep sluiten en wordt het kanaal afgedicht.

## 9.8 Bronnen

Kersten, B. (2010) – *Brandveiligheid Ontwerpen en Toetsen, deel D* – SBR, Rotterdam

Linsen, J.P. (2011) – *Brand in huis: overleven of overlijden?* – Hanzehogeschool, Groningen

Handboek Promat (2010)

Kom  
verder



# MODULE 6

## Hoofdstuk 10

### Installatietechnische brandbeveiliging

**Leerdoel:**

Inzicht in de respons van installaties op een brandscenario.

# 10. Installatietechnische brandveiligheid

Auteur: ing. R. Burcksen RSE

Dit thema behandelt de installatietechnische brandveiligheid. Omdat brandveiligheid inhoudt dat een gedurende bepaalde tijd er voor mensen een veilige omgeving moet kunnen worden geboden, is het juist van belang te weten hoe installatietechnische voorzieningen daaraan kunnen bijdragen.

Het doel van dit thema is om inzicht te geven in:

- gelijkwaardige brandveiligheid;
- de rol van installatietechnische brandveiligheidsvoorzieningen hierin;
- de globale werking van de installatietechnische brandveiligheidsvoorzieningen.

Het thema is als volgt opgebouwd:

- Gelijkwaardige veiligheid aan de bouwregelgeving
- Brandveiligheidsystemen
- Blussystemen
- Brandmeld- en ontruimingsinstallaties
- Andere brandbeveiligingssystemen

## 10.1 Gelijkwaardige veiligheid aan de bouwregelgeving

Het Bouwbesluit geeft (bouwkundige) eisen waaraan alle gebouwen in ons land aan moeten voldoen. Het Bouwbesluit onderscheidt daarbij 2 niveaus; nieuwbouwniveau en een niveau voor bestaande bouw. Alle nieuw te bouwen objecten moeten logischerwijs voldoen aan de nieuwbouw eisen, alle bestaande gebouwen moeten minimaal voldoen aan het niveau voor bestaande bouw. Daarmee is het niveau voor bestaande bouw de absolute ondergrens voor de brandveiligheid, het niet voldoen aan dit niveau betekent derhalve een overtreding van de woningwet en is daarom strafbaar.

Wanneer het niet mogelijk/wenselijk is om te voldoen aan het nieuwbouwniveau, biedt het Bouwbesluit de mogelijkheid om gebruik te maken van een gelijkwaardige brandveiligheid. Artikel 1.3 van het Bouwbesluit zegt het volgende :

*Aan een in hoofdstuk 2 tot en met 7 gesteld voorschrift hoeft niet te worden voldaan indien het bouwwerk of het gebruik daarvan anders dan door toepassing van het desbetreffende voorschrift ten minste dezelfde mate van veiligheid, bescherming van de gezondheid, bruikbaarheid, energiezuinigheid en bescherming van het milieu biedt als is beoogd met de in die hoofdstukken gestelde voorschriften.*

Voorbeelden van situaties waarin een gelijkwaardige veiligheid moet worden aangetoond zijn :

- Grotere brandcompartimenten dan toegestaan
- Langere loopafstanden dan toegestaan
- Lagere brandwerendheid (WBDBO<sup>80</sup>) van ruimten/constructies/constructieonderdelen
- Lagere brandwerendheid op bezwijken van constructies dan vereist

In gelijkwaardige veiligheidsoplossingen spelen brandbeveiligingsinstallaties vaak een grote rol.

## 10.2 Brandbeveiligingsystemen

De meest voorkomende installaties om een aan het Bouwbesluit gelijkwaardige veiligheid te bereiken zijn de sprinklerinstallatie en de rookbeheersingsinstallatie (RBI) of rook- en warmte afvoerinstallatie (RWA). Een overzicht van de toegepaste combinaties gelijkwaardigheden versus brandveiligheidsinstallatie staat hieronder :

- Grotere omvang brandcompartiment => Sprinkler/RWA
- Langere loopafstanden => RWA
- Reduceren WBDBO => Sprinkler
- Reduceren brandwerendheid => Sprinkler
- Beheersbaarheid van Brand => Sprinkler/RWA
- Creëren “niet-besloten” ruimte => RWA

In de volgende hoofdstukken zal nader worden ingegaan op de invulling van de beoogde gelijkwaardigheid door de verschillende brandbeveiligingsystemen.

In hoofdstuk 3 komen de (automatische) blussystemen aan bod, hoofdstuk 4 behandelt de brandmeldinstallatie (BMI) en de ontruimingsalarminstallatie (OAI), in hoofdstuk 5 tenslotte worden rookbeheersingsystemen en zuurstofverlagingsystemen nader toegelicht.

Overigens worden brandbeveiligingsystemen niet alleen toegepast om een gelijkwaardige brandveiligheid te realiseren. Ook vanwege de eisen van de verzekeraar (schadebeperking) en/of om grote privaatrechtelijke risico's te beveiligen worden brandbeveiligingsystemen toegepast.

---

<sup>80</sup> WBDBO : **W**eerstand tegen **B**rand **D**oorslag en **B**rand **O**verslag

## 10.3 Blussystemen

Als eerste worden de blussystemen nader toegelicht. Om beter inzicht te krijgen in de werking van de verschillende blussystemen is het verstandig eerst na te gaan wat blussen nu eigenlijk is.

Alle (automatische) blussystemen werken volgens een van de onderstaande principes :

- Wegnemen van de brandstof en/of
- Wegnemen van de zuurstof en/of
- Verlagen van de temperatuur (koelen) en/of
- Optreden als negatieve katalysator (zie ook de brandvijfhoek)

Om deze bovenstaande principes te bereiken, kunnen zes fysische mogelijkheden binnen de brandblustechniek worden toegepast :

- Koelen (verlagen van temperatuur)
- Verstikken (wegnemen/reduceren van zuurstof)
- Afdekken (wegnemen van zuurstof/voorkomen uitdampen)
- Verdunnen (verlagen van concentratie brandbare stof)
- Emulgeren (niet mengbare stoffen)
- Negatieve katalyse (invloed op verbrandingsreactie)

De keuze van het betreffende blussysteem en/of het toe te passen blusmiddel hangt af van de te blussen stoffen. Hierbij worden zes brandklassen onderscheiden waarop automatische brandblussystemen in hun werking moeten worden afgestemd :

- Brandklasse A : Vaste stoffen
- Brandklasse B : Vloeistoffen
- Brandklasse C : Gassen
- Brandklasse D : Metalen
- (Brandklasse E : Elektriciteit , officieus)
- Brandklasse F : Vetten (Horeca)

In de volgende paragrafen komen de verschillende blussystemen aan de orde. Hierbij worden als eerste de watervoerende systemen zoals sprinkler, deluge, watermist en schuimsystemen behandeld en daarna de gasblussystemen.

### **Automatische sprinklersystemen**

Een automatische sprinklerinstallatie is de meest voorkomende brandbeveiligingsinstallatie.

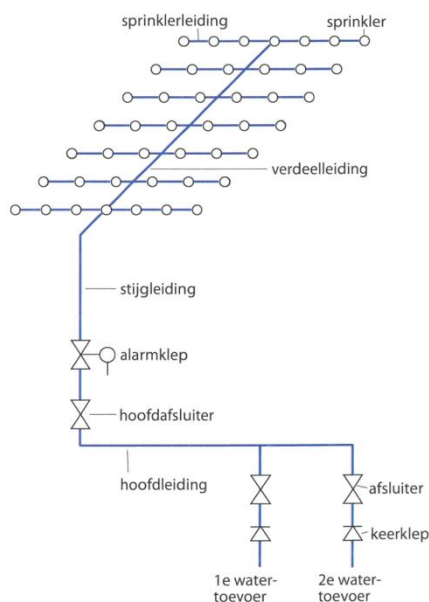


Automatische sprinklerinstallaties zijn ontworpen om een brand in het beginstadium te ontdekken en met water te blussen, dan wel de brand zo onder controle te houden dat volledige blussing met andere middelen kan worden verricht.<sup>81</sup>

Vanwege het feit dat een automatische sprinklerinstallatie een brand zal controleren (en in de meeste gevallen zelfs daadwerkelijk blussen), wordt een gecertificeerde sprinklerinstallatie algemeen geaccepteerd als een gelijkwaardige oplossing voor met name te grote brandcompartimenten. De brand zal immers dusdanig klein blijven dat deze door de brandweer kan worden geblust, zodat er geen onbeheersbare situatie kan ontstaan in het te grote brandcompartiment.

### *Waaruit bestaat een sprinklerinstallatie*

Een sprinklerinstallatie is opgebouwd volgens figuur 1.



Figuur 1: Schematische opbouw sprinklerinstallatie.

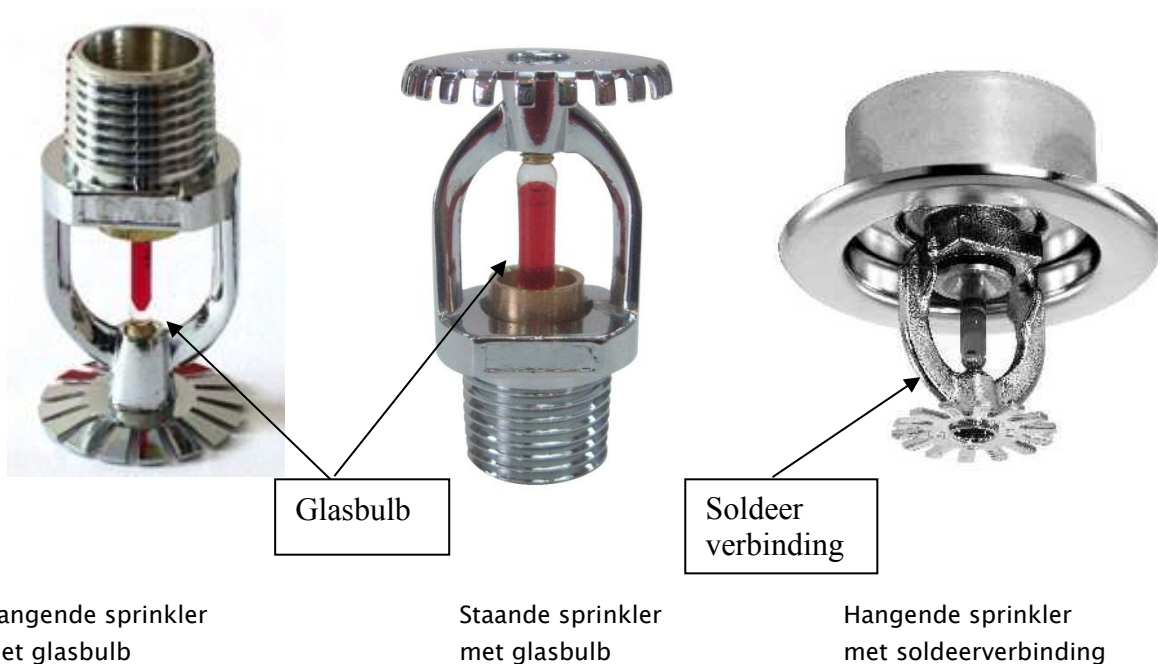
Alle sprinklerinstallaties zijn opgebouwd uit bovenstaande hoofdonderdelen, waarbij de belangrijkste zijn :

- Watertoevoer(en)
- Alarmklep(pen)
- Sprinklerleidingnet
- Sprinklers

### *Wat is een sprinkler*

Een sprinkler is een “sproeier met een warmtegevoelig afsluitelement dat opent om water te verspreiden voor brandbestrijding”<sup>82</sup>

<sup>81</sup> Doel van een sprinklerinstallatie volgens NEN-EN 12845 | NEN 1073



Hangende sprinkler met glasbulb

Staande sprinkler met glasbulb

Hangende sprinkler met soldeerverbinding

Figuur 2: Verschillende typen sprinklers.

Er zijn twee soorten sprinklers, sprinklers met een glasbulb of sprinklers met een soldeerverbinding. Zowel de glasbulb als de soldeerverbinding houden de klep van de sprinkler dicht, zodat de sprinkler geen water geeft. Zodra de temperatuur in de directe omgeving van de sprinkler een vooraf gedefinieerde temperatuur bereikt, breekt de glasbulb of laat de soldeerverbinding los. In beide gevallen opent het klepje van de sprinkler en vanaf dat moment gaat de sprinkler sproeien.

#### *Hoe werkt een sprinklerinstallatie*

In de normale situatie is het gehele leidingnet van een sprinklerinstallatie gevuld met water. Wanneer er een brand ontstaat zal ter plaatse de temperatuur stijgen. Wanneer de temperatuur bij een sprinkler stijgt boven de zogenaamde aanspraaktemperatuur ervan, zal deze sprinkler openen en water gaan sproeien. Dit zal een daling van de druk in het leidingstelsel veroorzaken hetgeen een alarm van de alarmklep en het starten van de sprinklerpomp tot gevolg zal hebben. Indien nodig zullen meer sprinklers in de directe nabijheid van de brand geactiveerd worden zodra de temperatuur van die sprinklers ook te hoog wordt. Op die manier past het systeem zich aan aan de brand. Zodra de brand onder controle is, zullen er niet meer sprinklers openen.

#### *Wat is van belang bij het ontwerpen van een sprinklerinstallatie*

Bij het ontwerpen van een sprinklerinstallatie is een aantal factoren van belang :

- Soort gebouw
- Gebruik van het gebouw
- Aanwezige opslag

Deze factoren bepalen namelijk de gevarenklasse (te beveiligen risico) van de sprinklerinstallatie. Binnen de (Europese) sprinklernormering wordt de volgende gevarenklassen onderscheiden :

- Light Hazard (LH)
- Ordinary Hazard (OH)
- High Hazard (HH)

De gevarenklassen bepalen op hun beurt de ontwerpparameters voor het betreffende sprinklersysteem :

- Minimale sproeidichtheid (hoeveel water moet erop)
- Minimale sproeitijd (hoe lang moet er minimaal geblust worden)
- Maximale sproeivlak (hoeveel sprinklers kunnen gelijktijdig in werking zijn)

Gevarenklasse	Minimale sproeidichtheid	Maximale sproeivlak	Minimale sproeitijd
Light Hazard (LH)	2,25 l/m <sup>2</sup> /min	84 m <sup>2</sup>	30 minuten
Ordinary Hazard (OH)	5 l/m <sup>2</sup> /min	72 - 360 m <sup>2</sup>	60 minuten
High Hazard (HH)	7,5 - 30 l/m <sup>2</sup> /min	260 m <sup>2</sup>	90 minuten

Tabel 1: Relatie tussen de ontwerpparameters van een sprinklerinstallatie.

Bovenstaande ontwerpgegevens gelden voor normale “natte” systemen, deze worden normaal gesproken toegepast mits de omgevingstemperatuur tussen de 5°C en 95°C ligt. Buiten dit temperatuurbereik kunnen droge systemen of systemen met antivries (<5°C) worden toegepast.

#### *Certificeren van de sprinklerinstallatie*

Om de gelijkwaardigheid van een sprinklerinstallatie blijvend te kunnen garanderen, dient een sprinklerinstallatie, op grond van Bouwbesluit artikel 6.32, lid 1, te zijn voorzien van een geldig inspectiecertificaat. Dit inspectiecertificaat heeft een beperkte geldigheid (1/2 jaar of een jaar) en moet telkens opnieuw worden afgegeven. Om een nieuw certificaat te verkrijgen, moet de installatie periodiek worden onderhouden en geïnspecteerd.

Bovenstaande ontwerpgegevens worden gebruikt voor een sprinklerinstallatie die bedoeld is om een brand te controleren. Er kunnen ook speciale criteria worden gebruikt om een installatie te ontwerpen om een brand daadwerkelijk te blussen. Hiervoor worden bijvoorbeeld zogenaamde ESFR (**E**arly **S**uppression, **F**ast **R**esponse) systemen

toegepast. Deze systemen kenmerken zich door het feit dat er sprinklers worden gebruikt die veel meer water geven, waardoor echt een blussende werking i.p.v. een controlerende werking wordt bereikt.

### **Automatisch delugesystemen**

Een automatisch delugesysteem is eigenlijk een speciale uitvoering van een sprinklerinstallatie. Het verschil met een regulier sprinklersysteem zit vooral in het feit dat een delugesysteem alleen maar open sproeiers (nozzles) heeft met een (veel) grotere doorlaat dan normale sprinklers. Hierdoor zal bij activering de installatie over een (veel) groter oppervlak werkzaam zijn en daardoor (veel) meer water afgeven dan een sprinklerinstallatie. Een delugesysteem beschikt daarnaast altijd over een separaat detectiesysteem voor de aansturing van de delugeklep.

#### *Waaruit bestaat een delugesysteem*

Een delugesysteem bestaat uit de volgende onderdelen :

- Sproeiers (spayers)
- Delugeklep(pen)
- Stromingsschakelaars
- Drukschakelaars
- Pomp(en)
- Watervoorraad (schuimvoorraad en schuimbijmengingssysteem)
- Sprinklermeld en activerings centrale (SMC++)
- Detectiesysteem of detectienet

De meeste onderdelen zijn ook terug te vinden in een sprinklerinstallatie zoals weergegeven in figuur 1, zij het in een iets andere vorm en/of met een iets andere werking; de sproeiers van een delugesysteem zijn open en de delugeklep wordt actief gestuurd, terwijl de alarmklep in een sprinklerinstallatie automatisch een alarm geeft bij een blussing middels een aangesproken sprinkler.

#### *Hoe werkt een delugesysteem*

Zoals hiervoor aangegeven is een delugesysteem altijd voorzien van een detectiesysteem. De werking van het delugesysteem is als volgt :

Het detectiesysteem opent (stuurt) de delugeklep bij een brandmelding, zodat het bluswater via het leidingstelsel naar de sproeiers wordt getransporteerd. Hierdoor zal vervolgens over het gehele beveiligde gebied water uit alle (open) sprayers gaan sproeien. De drukval op de watervoorziening wordt gedetecteerd door drukschakelaars waardoor de brandpomp zal starten om te zorgen dat er voldoende water onder voldoende druk beschikbaar blijft.

Er worden diverse soorten delugesystemen toegepast :

- Systemen met een normale of snelle reactietijd en/of

- Systemen met een detectienet of detectiesysteem

Tevens worden delugesystemen in specifieke toepassingen, bijvoorbeeld in geval van vloeistofbranden uitgevoerd als een systeem met schuimbijmenging, zodat er een schuimlaag op de vloeistof komt. (zie verder 'schuimsystemen')

#### *Wanneer wordt een delugesysteem toegepast*

Gewone (met normale reactietijd) deluge-installaties worden ingezet voor verschillende doeleinden:

- Het bestrijden van zich zeer snel ontwikkelende branden
- Het bestrijden van sommige soorten vloeistofbranden m.b.v. hoge snelheidssproeiers zoals bijvoorbeeld het beveiligen van met olie gevulde transformatoren
- Het bestrijden van vloeistofbranden met zwaar schuim of AFFF
- Het koelen van opslagtanks
- Het beveiligen van chemische processen

Delugesystemen met een snelle reactietijd worden bijvoorbeeld toegepast in omgevingen waar het risico van een explosies aanwezig is, daarbij is het van belang om z.s.m. na het beginnen van de brand “water op het vuur te hebben”. De snelle reactietijd wordt dan met name gerealiseerd door een zeer snel detectiesysteem, vaak gebruikmakend van stralingsdetectie.

#### **Watermistsystemen**

Een watermiststelsel is in feite ook een speciale uitvoering van een “normale” sprinklerinstallatie. Door het toepassen van speciale nozzle technieken en hogere drukken in het stelsel dan bij een conventionele sprinkler komt het water uit de nozzles (sproeiers) als nevel i.p.v. druppels. Deze nevel zorgt vervolgens voor een veel betere koelende werking waardoor er aanzienlijk minder water nodig is dan bij een sprinklerinstallatie. Dit wordt bereikt doordat de kleinere druppels tezamen een veel groter oppervlak hebben om de warmte te absorberen dan dezelfde hoeveelheid water in grotere druppels.

Een watermistinstallatie wordt gebruikt om in een zo vroeg stadium de brand te ontdekken en vervolgens deze zo snel mogelijk te bestrijden.

Daarbij wordt gebruik gemaakt van de volgende vier principes :

- koelen, zo mogelijk blussen
- beschermen tegen schadelijke rookgassen
- flashover voorkomen
- nevenschade beperken

#### *Waaruit bestaat een watermiststelsel*

Een watermistinstallatie is behoorlijk goed vergelijkbaar met een normale sprinklerinstallatie en bestaat uit de volgende onderdelen :

- Watermistnozzles
- Hogedruk leidingnet (RVS)
- Alarmklep(pen)
- Drukschakelaar(s)
- Pomp(en)
- Watervoorraad
- Sprinklermeldcentrale (SMC)

*Vergelijking ontwerpcriteria watermist ⇔ sprinkler*

In de onderstaande tabel staat een vergelijking tussen de ontwerpgegevens van een watermiststelsel en een “normaal” sprinklersysteem.

<u>Ontwerpcriterium</u>	<u>Conventionele sprinkler</u> <u>(V.A.S. , NFPA13, CEA4001)</u>	<u>Watermist</u> <u>(NFPA750 , FM , VdS)</u>
Sproeivlak	12m <sup>2</sup>	16m <sup>2</sup> tot 25m <sup>2</sup>
K-factor	80	1,9 tot 4,1
Watervoorraad	85m <sup>3</sup> tot 185m <sup>3</sup>	2,1 m <sup>3</sup> – 30m <sup>3</sup>
Watervoorziening	540 l/min tot 2100 l/min	75 l/min tot 500 l/min
Blustijd	60 min	30 min / 60 min
Sprinklerleidingen	DN25 tot DN50	DN12 tot DN38
(Hoofd)verdeelleidingen	DN40 tot DN250	DN38

De belangrijkste conclusie die uit bovenstaande tabel kan worden getrokken, is dat een watermiststelsel veel minder water nodig heeft dan een sprinkler en dat de toe te passen leidingdiameters veel kleiner zijn. Vanwege de hoge drukken dient het gehele leidingwerk echter in roestvast staal te worden uitgevoerd en moeten alle componenten in het systeem geschikt zijn voor deze hoge drukken Een watermiststelsel kan duurder zijn dan een conventioneel sprinklersysteem.

*Hoe werkt een watermiststelsel*

Een watermistinstallatie wordt toegepast in 2 varianten ; voorzien van open sproeiers (als delugesysteem) met een detectiesysteem of met dichte sproeiers zoals een sprinklerinstallatie. De werking is dan ook vergelijkbaar met deze systemen.

*Wanneer wordt een watermiststelsel toegepast*

Watermistssystemen worden in alle soorten gebouwen toegepast. De keuze voor een watermiststelsysteem is afhankelijk van de exacte situatie van het te beveiligen gebouw. Wanneer bijvoorbeeld de watervoorraad niet te groot kan/mag zijn is het logisch een watermiststelsysteem te kiezen i.p.v. een sprinkler. Hetzelfde geldt wanneer de afmetingen van het toe te passen leidingwerk niet te groot mag worden in verband met beperkte ruimte.

### **Schuimblussystemen**

Een schuimsysteem is een controlerende en blussende brandbestrijdingstechniek die qua opbouw is te vergelijken met een sprinklerinstallatie.

Blusschuim is een mengsel van water, schuimvormend middel (SVM) en een ontbrandbaar gas, meestal lucht uit de omgeving. Het schuimmengsel wordt verkregen door water en SVM door een mengtoestel te leiden en daar op geforceerde of natuurlijke wijze lucht of een onbrandbaar gas aan toe te voegen, waardoor het water/ schuim mengsel expandeert.



Blusschuim wordt toegepast voor het blussen en afdekken van stoffen uit de brandklassen A en B en soms onder speciale omstandigheden voor brandklasse C (NEN-EN 2) en F (ISO 16045). Blusschuim kan zowel mobiel als met een vast opgestelde voorzieningen worden toegepast. Het kan worden toegepast als:

- de soortelijke massa van een te blussen brandbare en/of gevaarlijke vloeistof kleiner is dan die van water;
- een brandbare en/of gevaarlijke vloeistof in water oplosbaar is (polair);
- preventieve afdekking en het indammen van een brand nodig is;
- een vaste stof niet voldoende hygroscopisch is om met een waterstraal te worden geblust;
- hete oliebakken veilig geblust moeten worden;
- een ruimte inert gemaakt moet worden.

Schuimblusinstallaties worden vaak industrieel toegepast voor opslag van gevaarlijke stoffen die onder de PGS 15 richtlijnen beveiligd moeten worden.

#### *Voordelen van toepassing schuimblussysteem:*

- Snelle blussing.
- Verkorte blustijden en dito inzet.
- Beperkte gevolgschade door blusstof bij inzet van middel en lichtschuim.
- Minder gebruik van water (in vergelijking met andere watervoerende blustechnieken)

- Het voorkomen van milieu gevaren en calamiteiten door afdekking van risicovolle vloeistoffen.
- Geschikt voor de meeste vloeistofbranden.
- Ruimte vullend bij hoge expansie en daardoor te gebruiken voor het blussen van grote of moeilijke toegankelijke ruimten.

#### *Mogelijke gevolgen en gevaren bij toepassing van een schuimblussysteem*

- Milieuprobleem bij uitstromen van blusschuim op open water of riool.
- Contaminatie van drink en oppervlakte water.
- Verstikkend bij ruimt vullende toepassingen.

Een schuimblussysteem mag niet worden toegepast op:

- Zuurstofdragende stoffen, zoals bijvoorbeeld kruit.
- Reactieve materialen, zoals bijvoorbeeld natrium.
- Thermisch ontleedbaar gevoelige stoffen, zoals peroxiden.

De genoemde brandbare stoffen reageren heftig op water!

#### *Waaruit bestaat een schuimblussysteem*

Automatische schuimblussystemen bestaan uit:

- Watervoorziening, vergelijkbaar met die voor een sprinklerinstallatie.
- Schuimvormend middel (SVM) voorraad tank en het meng of injectie systeem. SVM 's zijn er in vele soorten en uitvoeringen, deze worden gekozen op grond van de voor het risico specifiek benodigde eigenschappen. In het algemeen worden SVM concentraten in 1, 3 of 6 % aan het bluswater toegevoegd. Het gebruikte concentraat en de vooraf vast te stellen gebruikerstijd bepalen het opslagvolume en de toe te passen meng- of injectie-apparatuur.
- Het transportleidingnet voor de toevoer van het water-schuimmengsel naar de schuimmakers in de te beveiligen ruimte.
- Schuimmakers: als vast of semi vast opgestelde schuimmakers worden onder meer onderscheiden:
  - Schuimsproeiers of sprinklers
  - Schuimkanonnen
  - Schuimgeneratoren

#### *Hoe werkt een blusschuimsysteem*

Op basis van een uit het opgestelde systeem resulterende schuimproductie is er sprake van een expansievoud (verschuumingsgetal) :

- Expansievoud  $< 20$ : zwaarschuim wordt toegepast bij het afdekken van horizontale oppervlakken.
- Expansievoud  $20 < - < 200$ : middelschuim wordt toegepast zwaarschuim en voor het vullen van ruimten, die minimaal aan 5 zijden zijn omsloten.



- Expansievoud  $> 200$ : lichtschuim toegepast als hiervoor benoemd en het vullen van grote ruimten, die minimaal aan 5 zijden omsloten zijn.

**Voorbeeld:**

1 liter water met SVM mengsel + 49 liter lucht geeft 50 liter schuim, expansievoud 50.

*Ontwerpfactoren voor blusschuiminstallaties*

- Soort brandobject en te beveiligen vloeistof?
- Het blusdebiet (de hoeveelheid blusmiddel die per tijdseenheid benodigd zal zijn)?
- Blussing op welke wijze of preventief afdekken?
- Hoe wordt de schuim opgebracht?
- Welke watervoorziening is nodig?
- Soort en benodigde hoeveelheid SVM?
- Stabiliteit van de schuimafdekking (in een rand wordt opgebracht schuim afgebroken, hier moet dus bij het ontwerp rekening gehouden worden)
- Hoe snel moet het schuim inzetbaar zijn?
- Wordt het een automatische of handbediende schuimblusinstallatie?
- Welke ontwerpnormen dienen te worden gebruikt( de meest gebruikte normen in NL NFPA 11, 11A, 16 en 30)?
- Zijn er aanvullende eisen van brandweer, verzekeraar of overheid?

**(Droge) blusleidingen en hydranten**

Droge blusleidingen (DBL) en hydranten zijn geen automatische blussystemen maar voorzieningen die de brandweer kan gebruiken om (makkelijker) een brand te kunnen bestrijden.

*Droge blusleidingen*

Droge blusleidingen staan ten dienste van de brandweer. Het doel van het aanbrengen van droge blusleidingen is om bij brand in een hoog gebouw een sneller optreden van de brandweer mogelijk te maken. Droge blusleidingen beperken het aantal aan elkaar te koppelen brandslangen, waardoor de brandweer sneller in staat is om bij brand op een hoger gelegen verdieping te beginnen met het bestrijden van brand. Daarnaast blijft het trappenhuis vrij van slangen, zodat dit onbelemmerd gebruikt kan worden. Droge blusleidingen worden van buitenaf via een pomp(auto) met water gevoed.

*Waaruit bestaat een (droge) blusleiding*

Een systeem van droge blusleidingen bestaat uit een kast aan de gevel van het gebouw, waar de brandweer van buiten af de watervoorziening kan aansluiten en een (stelsel van) blusleidingen in het gebouw waar binnen de slangen kunnen worden aangekoppeld.

Zowel buiten als binnen worden de slangen aangesloten m.b.v. Storz koppelingen. Storz is een snelkoppelingssysteem, bestaand uit twee identieke bajonethelften.



Figuur 4: Aansluitkast DBL



Figuur 5: Aansluitpunt DBL

#### *Wanneer is een (droge) blusleiding vereist*

Droge blusleidingen zijn worden vanuit het Bouwbesluit voorgeschreven in gebouwen met een hoogste verblijfsvloer van meer dan 20m. Ook in gebouwen die vanwege de grote oppervlakte een zogenaamde penetratiediepte van meer dan 60m hebben, worden doorgaans voorzien van droge blusleidingen, alhoewel dit niet verplicht is.

Het aantal blusleidingen in een gebouw volgt uit Bouwbesluit artikel 6.29 “*Droge blusleiding*” lid 4, daarin wordt aangegeven dat de maximale loopafstand tot een droge blusleiding 60m (nieuwbouw) of 110m (bestaande bouw) mag zijn.

Voor gebouwen hoger dan 70m geldt tevens nog de aanvullende eis voor een pompinstallatie t.b.v. de droge blusleiding om het statische drukverlies als gevolg van de hoogte te kunnen compenseren en een eigen watervoorraad die de brandweer van buitenaf kan bijvullen<sup>83</sup>.

#### *Hydranten*

Een hydrant (brandkraan) is een aansluitpunt voor bluswater bedoeld voor de brandweer. Voor gebouwen die direct aan de openbare weg staan vallen deze brandkranen onder de verantwoordelijkheid van de (lokale) overheid. Dit betreft zowel de beschikbare capaciteit als de verantwoordelijkheid voor het onderhoud. Bouwbesluit artikel 6.30 “*Bluswatervoorziening*” lid 3 bepaalt dat bij een afstand van de brandweeringang van een gebouw tot de bluswatervoorziening op de openbare weg van meer dan 40m een

---

<sup>83</sup> Bron : praktijkrichtlijn Hoogbouw

bluswatervoorziening op eigen terrein vereist is. Ook de capaciteit en het onderhoud wordt dan de verantwoordelijkheid van de gebouweigenaar.

### *Soorten hydranten*

Er zijn 2 soorten hydranten; ondergrondse en bovengrondse hydranten. De bovengrondse hydranten zijn direct beschikbaar om een slang op aan te sluiten, op de ondergrondse hydranten moet eerst een opzetstuk worden geplaatst.



Figuur 6: Ondergrondse hydrant



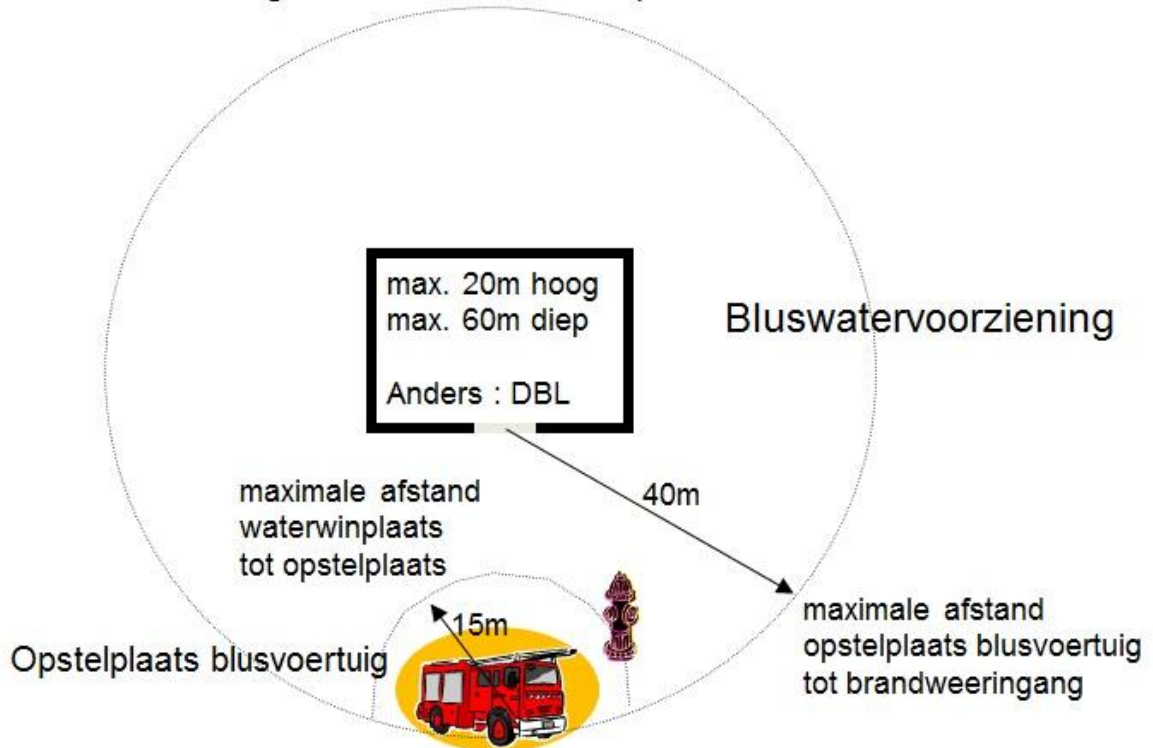
Figuur 7: Ondergrondse hydrant met opzetstuk.



Figuur 8: Bovengrondse hydrant

De samenhang tussen hydranten, droge blusleiding en opstelplaats van de brandweer staat aangegeven in onderstaande figuur.

## Samenhang Niet-Automatische blussystemen



Figuur 9: Samenhang van niet-automatische blussystemen.

## Blusgassystemen

Blusgassystemen zijn brandblusinstallaties die ontworpen zijn om een brand daadwerkelijk te blussen binnen een bepaalde tijd en om ook herontbranding te voorkomen. Deze blusinstallaties maken gebruik van een blusgas als blusmiddel i.p.v. water of schuim.



Figuur 10: Centrale blusgas opstelling.

Een blusgas of “Clean Agent” is een chemische enkelvoudige of samengestelde stof die in staat is een (beginnende) brand te onderdrukken of te blussen door:

- verdringing van de zuurstof (lucht) tot onder een bepaald niveau, of,
- een fysische reactie die de temperatuur van een brandende stof zodanig verlaagt dat deze beneden het vlampunt komt en dooft, of,
- een negatieve katalytische reactie zodat de verbrandingsreactie dramatisch wordt onderbroken, of,
- een combinatie van eigenschappen.

Clean Agents worden toegepast op basis van Europese regelgeving waarbij de navolgende factoren zijn gereguleerd:

1. OPD Ozon Depletion Potential (afbraak van de Ozon in de atmosfeer)
2. Carcinogene eigenschappen (kankerverwekkende eigenschappen)
3. GWP Global Warning Potential (broeikas effecten)

Clean Agents worden geregistreerd volgens de zogeheten “SNAP” lijst en in Nederland is alleen het gebruik toegestaan van gassen met een ODP = 0!

De leveranciers van de blusgassen geven “Productbladen” uit, specificaties en toepassingen van blusgassen zijn ook vastgelegd in

- NEN-ISO 14520 (Ontwerp algemeen)
- NEN - EN - 15004 deel 1 t/m 9 (ontwerpen voor specifieke blusgassen)
- NEN - EN - 12094 (eisen aan componenten)
- NFPA 12 (CO<sub>2</sub>)
- NFPA 2001 (Standard clean agent)
- VdS 2093 (CO<sub>2</sub>)
- VdS 2380 (Inerte gassen)
- SVI (Veiligheidsblad)

### *Toepassingen blusgassen*

Blusgassen worden veelal toegepast in ruimten waar de blussing alleen met elektrisch niet geleidende blusmiddelen mag plaatsvinden en ook als de blusstof niet of nauwelijks mag bijdragen aan de eventuele rest of gevolgschade van een brand.

Typische toepassingen zijn:

- Bij een hoog brandrisico.
- Indien logistiek belangrijke apparatuur moet beveiligd worden (bijvoorbeeld een server of datacentra).
- Bij opslag van kapitale goederen.
- Bij de opslag van milieu gevaarlijke stoffen.
- Als gevolgschade tot een absoluut minimum moet worden beperkt.
- Als mogelijke gelijkwaardige oplossing.

Beperkingen in de toepassing van met name chemische blusgassen:

- Zuurstofdragende stoffen, zoals bijvoorbeeld kruit.
- Reactieve materialen, zoals bijvoorbeeld natrium.
- Thermisch ontleedbaar gevoelige stoffen, zoals peroxiden.
- Chemische blusgassen kunnen niet worden toegepast voor het blussen van zogenaamde kern of gloedbranden.

*Welke soorten blusgassystemen zijn er?*

1. Ruimtelijke blussing of total flooding.

Hier is sprake van indien blussing plaatsvindt in een omsloten en of besloten ruimte. Dit kan zijn bv een ruimte voor opslag gevaarlijke stoffen (in het kader van de PGS 15), maar ook een omkasting van een noodgenerator, of een data communicatiecentrum

2. Object of plaatselijke blussing of ook wel Local Application.

Hier is sprake van indien blussing plaatsvindt op een in een ruimte geplaatst object. Denk hierbij bijvoorbeeld aan: een drukmachine, een open bakstraat voor chips of de wet bench voor de productie van elektronische chips.

*Waaruit bestaat een blusgassysteem*

Een blusgasinstallatie bestaat uit een of meerdere cylinders (drukhouders) waarin het blusgas is opgeslagen. Deze cylinders zijn voorzien van een afsluiter en een openingsmechanisme. Voor controle van de inhoud is afhankelijk van het type blusgas vaak een drukindicator (manometer) of weeginrichting voorzien. Cylinders zijn vaak opgesteld in een aparte, goed geventileerde) ruimte, de zgn. centrale opstelling in tegenstelling tot de modulaire systeemopbouw waarbij de cylinders decentraal verspreid over de te beveiligen ruimte staan opgesteld met elk een eigen leidingnet. Bij een centraal opgestelde cilinderbatterij worden de flessen aangesloten op een verzamelleiding d.m.v. hogedruk slangen met terugslagklep, zie ook figuur 11. Vanaf de verzamelleiding loopt een transportleiding naar de te beveiligen ruimte waar aangesloten wordt op een blusleidingnetwerk met afblaasmonden (nozzles). Het activeren van de blusgasinstallatie kan te allen tijde handmatig, maar veelal wordt de activering automatisch gerealiseerd door een in de te beveiligen ruimte aangebracht branddetectie systeem.



Figuur 11: Cilinderbatterijen met verzamelleidingen.

### *Hoe werkt een blusgassysteem:*

#### 1. Inerte blusgassen en CO<sub>2</sub>

Inerte blusgassen en CO<sub>2</sub> blussen door het verdrijven van de lucht (incl. de zuurstof) uit een ruimte tot een niveau dat het verbrandingsproces stopt. Bij gebruik van een inert blusgas blijft er bij een blussing nog voldoende zuurstof in die ruimte over, zodat de mensen in die ruimte nog voldoende kunnen ademhalen en de ruimte verlaten; bij blussing met CO<sub>2</sub> is dat echter niet het geval, 8 VV% CO<sub>2</sub> in de lucht is een dodelijke concentratie!

#### 2. Chemische blusgassen

Chemische blusgassen zullen in een brand zeer snel de verbrandingswarmte opnemen, soms vindt er ook een proces van negatieve katalyse plaats. Beide effecten leiden tot een snelle blussing, waarbij over het algemeen de zuurstofconcentratie in de beveiligde ruimte weinig zal dalen. Wel van belang bij chemische blusgassen is dat de werking van het blusgas begrensd is vanwege de beperkte warmte energie opname en of de gelimiteerde katalyse capaciteit. Chemische blusgassen moeten dan ook zo spoedig mogelijk na het ontstaan van een brand worden ingezet om een maximaal blussend vermogen te hebben.

### *Randvoorwaarden bij toepassing van blusgassen:*

- Adequate branddetectie: voor een snelle detectie van de brand en dito activering van het blussysteem
- Ruimte voldoende gasdicht: voor het snel kunnen realiseren van een blussende blusgasconcentratie en het vervolgens kunnen vasthouden van de blussende concentratie om de brand geheel te kunnen blussen (het voorkomen van herontbranding)
- Overdrukroosters: voor het compenseren van optredende over en onder druk effecten bij het inbrengen van het blusgas. Er wordt immers in korte tijd, van 10 seconden tot maximaal 1 minuut, een blussende concentratie van het blusgas in de ruimte gebracht!



- Evacuatiealarm: om de in de ruimte verblijvende personen vroegtijdig te alarmeren en ontruiming tot stand te brengen
- Evacuatietijd: de tijd tussen het inkomen van het akoestisch alarm en het moment waarop de daadwerkelijk blussing (het uitstromen van het blusgas) gaat plaatsvinden
- Onderbreking blussing (afhankelijk van type/concentratie blusgas): een elektrisch bedienbare blus uitstel mogelijkheid om een langere evacuatie tijd mogelijk te maken.
- Inzet van de juiste hoeveelheid blusgas: elk blusgas heeft specifieke kenmerken en ontwerpspecificaties voor de verschillende brandscenario's. De ontwerp-blusgasconcentratie is ook belangrijk in het kader van de gedefinieerde veiligheidsgrenzen in de blootstellingswaarden van personen aan de gasconcentraties de zogeheten: NOAEL No Observed Adversed Effect Level (de hoogste gemeten blootstellingswaarde zonder waargenomen effecten) en de LOAEL Lowest Observed Adversed Effect Level (de hoogst waargenomen niveaus waarbij wel nadelige effecten zijn waargenomen)
- Inzet van de juiste blustijd: vooral van belang voor chemische blusgassen omdat blussing alleen kan plaatsvinden bij een voldoende beschikbare blushoeveelheid, zal tijdens het inbrengen van het blusgas dit ontleed worden! Correcte inzet is dus van het grootste belang, mede ook voor de beperking van de hoeveelheid ontledingsproducten.
- Realisatie van de juiste concentratie standtijd: van belang voor het voorkomen van herontbranding door het te vroeg toelaten van zuurstof aan de ruimte waar de blussing plaatsvond.

#### 10.4 Brandmeld- en ontruimingsinstallaties (ontruimingalarmssystemen)

Brandmeld-(BMI) en ontruimingsalarmssystemen(OAI) worden geëist vanuit het Bouwbesluit. Afdeling 6.5<sup>84</sup> *“Tijdig vaststellen van brand, nieuwbouw en bestaande bouw”* stelt de eisen t.a.v. de BMI, in afdeling 6.6 *“Vluchten bij brand, nieuwbouw en bestaande bouw”* staan de eisen voor de OAI. Dit betekent dat een BMI en OAI verplichte installaties zijn en geen brandbeveiligingsinstallaties die toegepast worden voor gelijkwaardigheid. Het is echter wel mogelijk om deze installaties “zwaarder” uit te voeren dan voorgeschreven om vervolgens het bovenwettelijke deel te kunnen inzetten als gelijkwaardigheid.

##### Doel van een brandmeldinstallatie

De brandmeldinstallatie in een gebouw heeft tot doel een beginnende brand in een dusdanig stadium te kunnen ontdekken, lokaliseren en alarmeren, dat het bestrijden

---

<sup>84</sup> Alle verwijzingen naar afdelingen en artikelen in dit hoofdstuk verwijzen naar het Bouwbesluit



ervan tijdig kan plaatsvinden en maatregelen worden getroffen om mens, dier, gebouw en milieu veilig te stellen, waardoor ongevallen en/of schade worden beperkt respectievelijk voorkomen.<sup>85</sup>

Een BMI wordt toegepast vanwege een van de onderstaande redenen :

- BMI wordt geëist vanuit wet- en regelgeving (Bouwbesluit).
- Op basis van gelijkwaardigheid.
- Eis van de verzekeraar.
- Vrijwillig.

### Wettelijke basis Brandmeldinstallatie (BMI)

Via Artikel 6.20 “Brandmeldinstallatie” en Tabel “bijlage 1 – Brandmeldinstallaties” wordt voor elk gebouwtype en -omvang aangegeven wat de uitvoeringseisen van de BMI moeten zijn.

	Gebruiksoppervlakte	Hoogste vloer van de gebruiksfunctie gemeten boven het meetniveau	Omvang van de bewaking, volgens NEN 2535	Doormelding volgens NEN 2535	
				Inspectiecertificaat als bedoeld in artikel 6.20, zevende lid, vereist	
	Groter dan [m <sup>2</sup> ]	Hoger dan [m]			
1 Woonfunctie					
a Woonfunctie voor zorg					
1 Zorgclusterwoning voor zorg op afroep, in een woongebouw	-	-	Gedeeltelijk	-	-
2 Zorgclusterwoning voor 24-uurs zorg niet in een woongebouw	-	-	Volledig	-	-
3 Zorgclusterwoning voor 24-uurs zorg in een woongebouw	-	-	Gedeeltelijk	ja	ja
4 Groepszorgwoning voor zorg op afspraak	-	-	Volledig	-	-
5 Groepszorgwoning voor zorg op afroep	-	-	Volledig	-	-
6 Groepszorgwoning voor 24-uurs zorg	-	-	Volledig	ja	ja
7 Andere woonfunctie voor zorg	-	-	-	-	-
b Andere woonfunctie	-	-	-	-	-
2 Bijeenkomstfunctie					
a voor het aanschouwen van sport	-	-	-	-	-
b kinderopvang voor kinderen jonger dan 4 jaar	200	-	Volledig	-	-
	-	1,5	Volledig	ja	ja
c Andere bijeenkomstfunctie	-	5	Gedeeltelijk	-	ja
	-	50	Volledig	-	ja
	500	-	Niet-automatisch	-	-
	1000	-	Gedeeltelijk	-	ja
	5000	-	Volledig	-	ja
3 Celfunctie	-	-	Volledig	ja	ja

Tabel 2: Brandmeldinstallaties (gedeelte, overgenomen uit Bouwbesluit 2012).

In bovenstaande tabel worden verschillende bewakingsvormen gegeven :

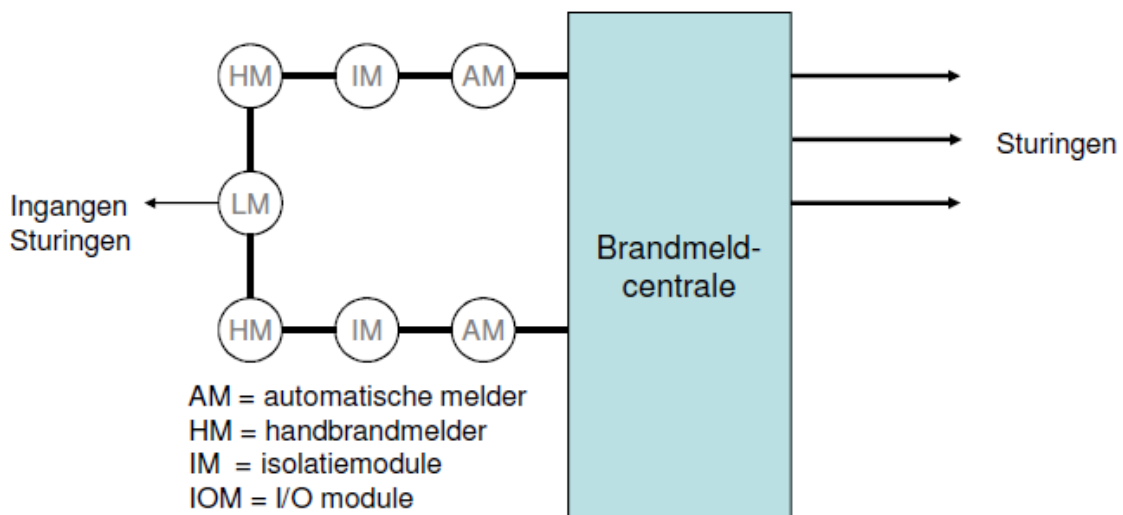
<sup>85</sup> Voorwoord NEN 2535

- Niet automatische bewaking – er moeten alleen handmelders worden aangebracht.
- Gedeeltelijke bewaking – naast de verplichte handmelders moeten alle verkeersruimten en ruimten met een verhoogd brandrisico worden voorzien van automatische brandmelders.
- Volledige bewaking – naast de verplichte handmelders moeten alle ruimten behalve die met nauwelijks brandrisico, worden voorzien van automatische brandmelders.

Daarnaast wordt in het Bouwbesluit (Artikel 6.20, lid 5) ook gesproken over 'Ruimtebewaking' (in relatie met ontvluchting). Hiermee wordt bedoeld dat bij samenvallende vluchtroutes (zogenaamde doodlopende einden) alle te passeren ruimten inclusief de verkeersruimte(en) moeten worden voorzien van automatische branddetectie.

### Waaruit bestaat een BMI

Een brandmeldinstallatie is opgebouwd volgens figuur 12.



Figuur 12: Schematische opbouw brandmeldinstallatie.

De handmelders en automatische brandmelders worden in een lus aangesloten op de brandmeldcentrale, dit is het hart van de installatie. De melders zorgen voor een brandalarm wanneer deze geactiveerd worden. De brandmeldcentrale zorgt vervolgens voor de juiste vervolgacties door de noodzakelijke sturingen te verrichten, zoals het aansturen van het luidalarm en het doen van een doormelding naar een alarmcentrale.

### Welke detectietechnieken zijn er

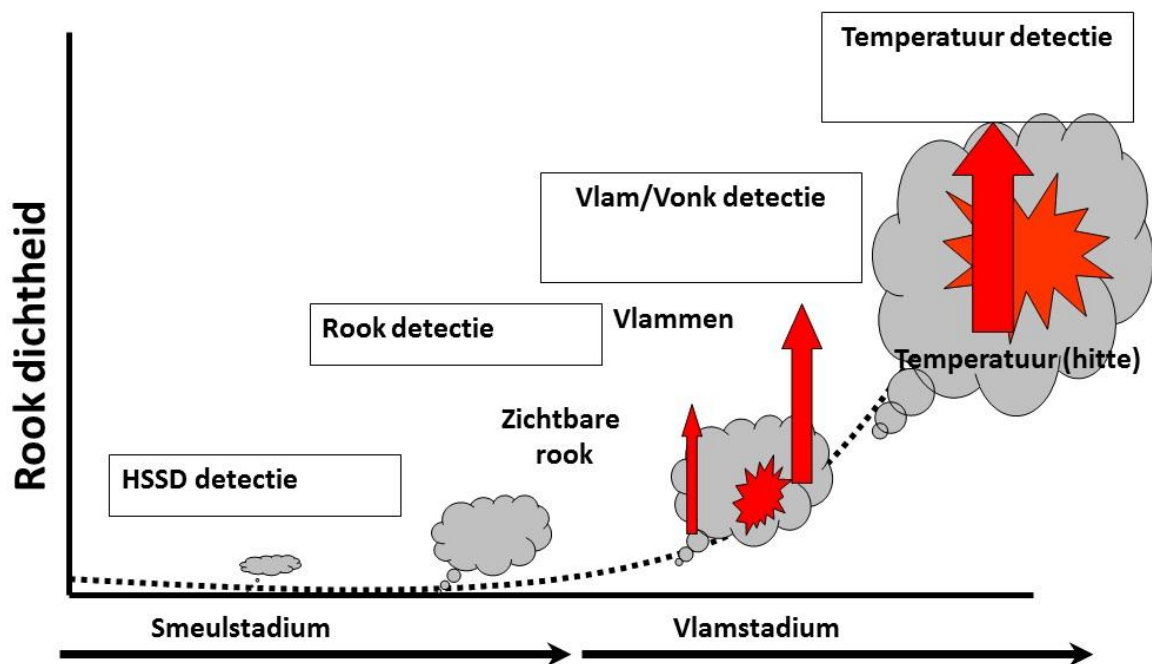
Het type toe te passen detectie dient zorgvuldig te worden afgestemd op het te verwachten risico/de te verwachten brand.

De volgende detectietype worden onderscheiden :

- Extra gevoelige rookdetectie, HSSD (High sensitivity smoke detection).
- Optische rookdetectie.

- Vlamdetectie (UV of IR).
- Temperatuurdetectie (op basis van maximale temperatuur of temperatuurstijging per tijdseenheid).

Het is van belang om te weten dat de verschillende vormen van detectie andere reactietijden hebben. In onderstaande figuur is de samenhang te zien tussen de fase (het stadium) waarin de brand zich bevindt en de meest geschikte vorm van detectie. Hoe later de melder reageert, hoe verder de brand inmiddels is ontwikkeld.



Figuur 13: Soorten detectie i.r.t. de ontwikkeling van de brand.

### Certificeren van de installatie

Om de goede werking van een BMI blijvend te kunnen garanderen, dient een BMI, op grond van Bouwbesluit artikel 6.20, lid 6, te zijn voorzien van een geldig inspectiecertificaat. Dit inspectiecertificaat heeft een beperkte geldigheid (een jaar) en moet telkens opnieuw worden afgegeven. Om een nieuw certificaat te verkrijgen, moet de installatie periodiek worden onderhouden en worden geïnspecteerd.

### Doel van een ontruimingsalarminstallatie (OAI)

Het doel van een OAI is om in geval van brand of andere noodsituaties een snelle en ordelijke, personele ontruiming van een gebouw en/of buitenruimte te kunnen bewerkstelligen.

### Wettelijke basis ontruimingsalarminstallatie

Artikel 6.23 *“Ontruimingsalarminstallatie en ontruimingsplan”* geeft vervolgens aan dat een gebouw dat op grond van afdeling 6.20 een brandmeldinstallatie dient te hebben ook voorzien moet zijn van een ontruimingsinstallatie. Ook wordt in deze afdeling de eis gesteld dat bij een ontruimingsinstallatie ook een, op het betreffende gebouw en organisatie afgestemd, ontruimingsplan moet hebben.

Het Bouwbesluit zegt niets over de uitvoering van een ontruimingsinstallatie, dat wordt bepaald door de voorgeschreven NEN norm NEN 2575<sup>86</sup>. Afhankelijk van de omvang en het soort gebouw worden de volgende soorten OAI's onderscheiden :

- Luid alarm, verder onder te verdelen in:
  - Luid alarm type A, gesproken woord
  - Luid alarm type B, slow-whoopsignaal
- Stil alarm, verder onder te verdelen in:
  - Personen zoekinstallatie (PZI)
  - Attentiepanelen op geselecteerde plaatsen
  - Gesproken codeberichten via een geluidsinstallatie
- Combinatie van luid en stil alarm

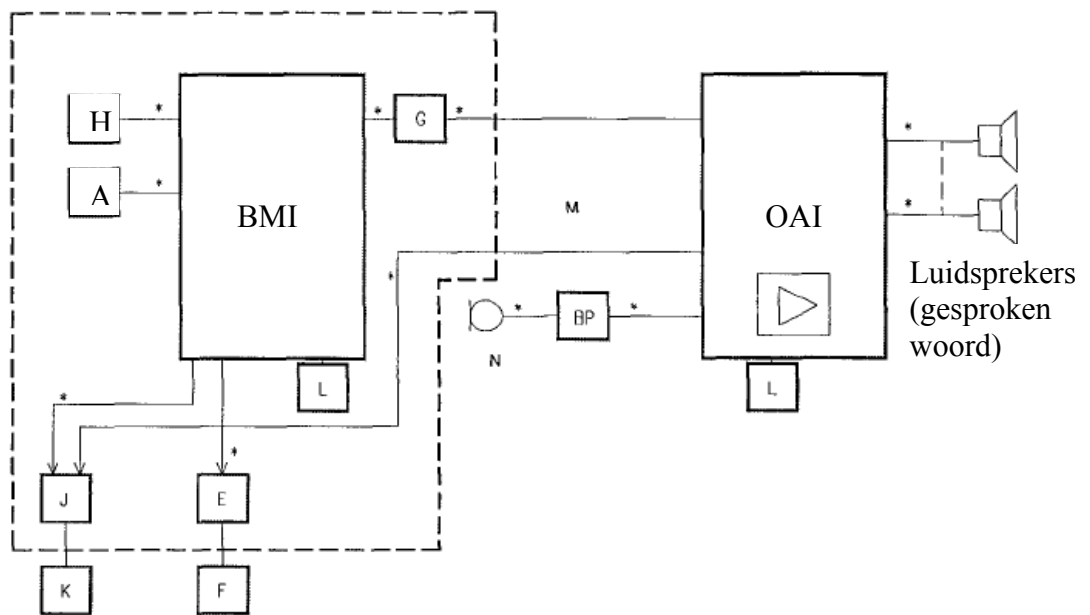
### **Waaruit bestaat een OAI**

Het belangrijkste onderdeel van een OAI met luidalarm is de signaalgever. De signaalgevers dienen namelijk ervoor te zorgen dat het ontruimingsignaal door het gehele gebouw minimaal 6 dB(A) hoger is dan het omgevingsgeluid met een minimum niveau van 65 dB(A). In gebieden waar geslapen wordt geldt een eis van minimaal 75 dB(A) op het hoofdkussen.

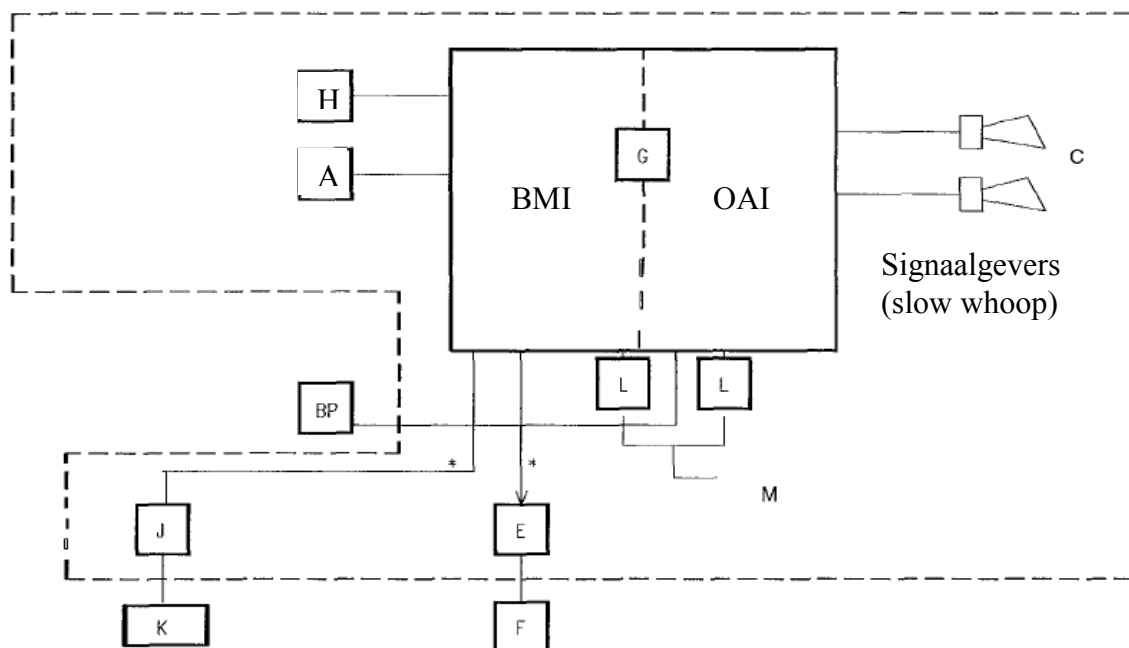
De meest voorkomende ontruimingsystemen zijn de luidalarm type A en type B. In figuur 14 is de schematische opbouw van een type A (met gesproken woord) installatie afgebeeld, figuur 15 is de schematische weergave van een type B installatie.

---

<sup>86</sup> Het type OAI is te bepalen met de stroomdiagrammen uit bijlage D van NEN 2575.



Figuur 14: Ontruimingsalarminstallatie type A<sup>87</sup>.



Figuur 15: Ontruimingsalarminstallatie type B<sup>10</sup>.

Een ander veel voorkomende OIA is de personen zoekinstallatie (PZI). Deze installatie wordt veel toegepast in gevangenissen en zorginstellingen.

<sup>87</sup> Afbeelding uit NEN 2575, uitgave 2004

Bij het gebruik van een PZI wordt automatisch een vooraf gedefinieerd groep personen gewaarschuwd door het geven van een akoestisch en optisch signaal op één of meer draagbare ontvangers van de PZI. Het voordeel hiervan is dat op de ontvangers van de PZI ook direct de exacte locatie van de brand kan worden afgelezen.

### **Certificeren van de installatie**

Om de goede werking van een OAI blijvend te kunnen garanderen, dient een OAI, op grond van Bouwbesluit artikel 6.23, lid 4 te zijn voorzien van een geldig inspectiecertificaat. Dit inspectiecertificaat heeft een beperkte geldigheid (een jaar) en moet telkens opnieuw worden afgegeven. Om een nieuw certificaat te verkrijgen, moet de installatie periodiek worden onderhouden en worden geïnspecteerd.

## **10.5 Andere brandbeveiligingsystemen**

Als afsluiting van dit thema worden in dit hoofdstuk nog 2 brandbeveiligingsystemen behandeld, de rookbeheersingsystemen en het zuurstofverlagingsysteem (Oxyreduct).

### **Rookbeheersingsystemen (RBI of RWA)**

Een RWA-installatie is een voorziening voor de afvoer van rook en warmte en de toevoer van buitenlucht.<sup>88</sup> Binnen het vakgebied van rookbeheersing worden de volgende verschillende type RWA installaties onderscheiden :

- Natuurlijke RWA
- Mechanische RWA, verder onder te verdelen in :
  - RWA voor o.a. atria
  - Stuwdrukventilatie
  - Overdrukssystemen voor o.a. trappenhuizen

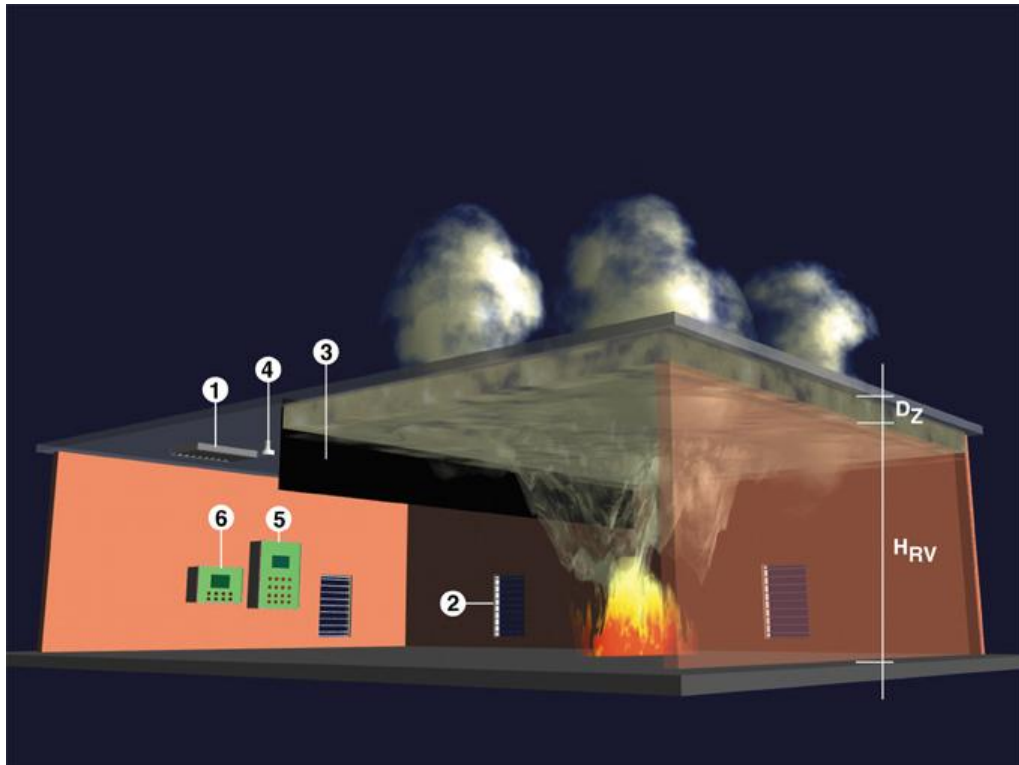
RWA wordt doorgaans toegepast om de volgende gelijkwaardigheden te realiseren:

- Overschrijding vluchtweglengte
- Overschrijding brandcompartimentgrootte
- Reductie brandwerendheid staalconstructie
- Realiseren niet-besloten ruimte

De werking van de meest voorkomende RWA's wordt in het volgende deel nader toegelicht aan de hand van diverse figuren.

---

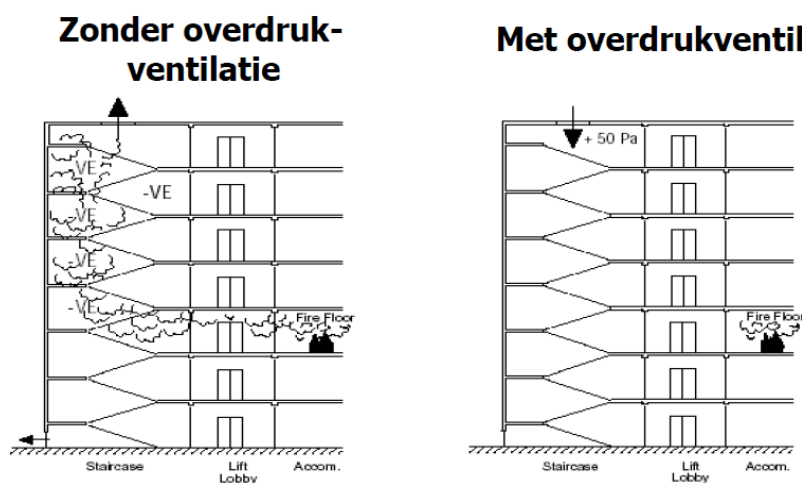
<sup>88</sup> Definitie uit NEN 6093



Figuur 16: RWA in een grote hal.

In figuur 16 is te zien dat in een hoge ruimte met behulp van een RWA een voldoende hoge rookvrije ruimte ( $H_{RV}$ ) kan worden gerealiseerd. Hierdoor blijft de warmte en de rook voldoende hoog zodat de temperatuur op vloerniveau (+1,5m) laag blijft en de zichtengte voldoende groot waardoor de ontvluchting langer mogelijk blijft.

Vanwege het langer beschikbaar blijven van de vluchtroutes, zijn langere loopafstanden mogelijk.



Figuur 17: Overdrukstelsel in een trappenhuis.

Figuur 17 illustreert de werking van een overdruksysteem van een trappenhuis. Aan de linkerzijde van de figuur is te zien dat de rook van een brand op een verdieping het trappenhuis kan binnentreden. In de rechterzijde van figuur 8 is te zien dat een overdruksysteem ervoor zorgt, dat er geen rook vanuit de verdieping het trappenhuis kan binnendringen.

### **Certificeren van de installatie**

Om de goede werking van een RBI blijvend te kunnen garanderen, dient een RBI, op grond van Bouwbesluit artikel 6.32, lid 2 te zijn voorzien van een geldig inspectiecertificaat. Dit inspectiecertificaat heeft een beperkte geldigheid (een jaar) en moet telkens opnieuw worden afgegeven. Om een nieuw certificaat te verkrijgen, moet de installatie periodiek worden onderhouden en worden geïnspecteerd.

### **Zuurstofverlagingsystemen**

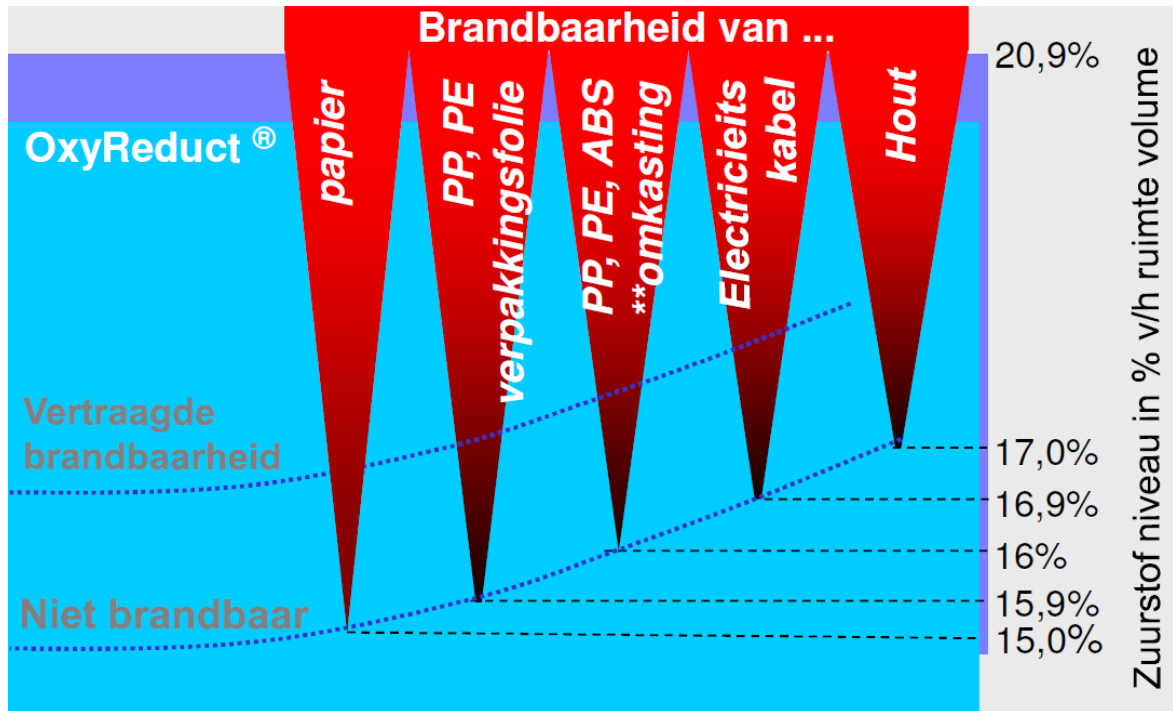
Een zuurstofverlagingsysteem is niet echt een brandbeveiligingsysteem, eerder een brandpreventief systeem. Het beoogde doel van een zuurstofverlagingsysteem is, door het verlagen van de concentratie van de aanwezige zuurstof, het brandproces te bemoeilijken en/of onmogelijk te maken.

Wanneer de concentratie zuurstof wordt verlaagd van de normale 21% naar 17%, kan er nagenoeg geen brand meer ontstaan.

De aan te houden concentratie zuurstof in de ruimte is afhankelijk van de aanwezige stoffen en de aanwezigheid van personen.

In de onderstaande figuur is de relatie te zien tussen de brandbaarheid van de diverse stoffen in relatie tot de concentratie zuurstof.





Figuur 18: Brandbaarheid van diverse stoffen i.r.t. de zuurstofconcentratie in de ruimte<sup>89</sup>.

De aanwezigheid(verblijfsduur) van personen is ook afhankelijk van de concentratie zuurstof

- Concentratie > 18% => onbeperkte duur toegestaan
- 18% > Concentratie > 15% => maximaal 4 uur onafgebroken aanwezig
- Concentratie < 13% => maximaal 2 uur onafgebroken aanwezig

Er worden 2 soorten zuurstofverlagingsystemen toegepast :

- Permanente zuurstofverlaging : betreffende ruimte wordt continu op een lage (bijv. 17%) concentratie gehouden (bijv. archieven).  
De kans op het ontstaan van brand in de betreffende ruimte wordt hiermee aanzienlijk verkleind.
- Tijdelijke zuurstofverlaging : bij een brandalarm van een bijbehorend detectiesysteem wordt de concentratie zuurstof heel snel verlaagd tot 12% of zelfs lager. Een beginnende smeulbrand zal dan zelf doven.

<sup>89</sup> Bron : Wagner Group GmbH

## 10.6 Bronnen

Bouwbesluit en NEN-EN normen zijn publiekrechtelijk aangestuurde documenten en buiten de bronvermelding gehouden.

Handboek voor de brandweer (2001) - *Branddetectie en automatische brandbestrijdingsinstallaties* - SDU, Den Haag

Kom  
verder



# MODULE 7

## Hoofdstuk 11

### Probabilistische benadering van brandveiligheid

**Leerdoel:**

Risico's van een brandscenario kunnen analyseren door toepassing van een foutenboom en gebeurtenissenboom.

# 11. Probabilistische benadering van brandveiligheid

Auteur: ir. R.A.P. van Herpen FIFireE

Het laatste thema van het lesprogramma komt terug bij het begin: Maatwerk brandveiligheid in brandbeveiligingsconcepten levert projectspecifieke maatregelen en voorzieningen met een grotere efficiëntie in veiligheid dan de generieke regels van de publiekrechtelijke regelgeving. In plaats van te voldoen aan de afzonderlijke regels moet dan worden voldaan aan de bovenliggende doelen. Dat betekent dat de regelgerichte aanpak wordt verruild voor een risico gebaseerde aanpak, een probabilistische benadering.

Het doel van dit thema is om inzicht te geven in:

- de bovenliggende doelen van de publiekrechtelijke regelgeving;
- het omgaan met deze doelen in een projectspecifieke aanpak.

Het thema is als volgt opgebouwd:

- van prescriptieve regels naar risicodoelen;
- probabilistische benadering van veiligheid;
- risicodoelen;
- kwantificeren van risicodoelen;
- risicobenadering voor branduitbreidingsgebied;
- risicobenadering voor private doelen.

## 11.1 Van prescriptieve regels naar risicodoelen

### Prescriptieve voorschriften en prestatie-eisen

De invoering van het Bouwbesluit in 1992 was een flinke stap voorwaarts in de landelijke bouwregelgeving. In plaats van de tot dan toe gebruikelijke prescriptieve voorschriften werden prestatie-eisen geformuleerd. De bedoeling hiervan was om meer ontwerp vrijheid te bieden en innovaties in de bouw niet te belemmeren.

Met prescriptieve voorschriften wordt bedoeld dat het voorzieningenniveau concreet voorgeschreven is. Hiervan kan niet worden afgeweken. Bij prestatie-eisen is dat niet het geval. Niet de voorziening ligt nu vast, maar de prestatie die de voorziening moet leveren. Deze wordt bij voorkeur vastgelegd in een eenduidige grootte met een grenswaarde en een bepalingsmethode (normaal gesproken een NEN-norm). Prestatie-eisen geven dus meer vrijheid dan prescriptieve voorschriften.

### 1. Luchtverversing:

Met prescriptieve voorschriften wordt de luchtverversing via natuurlijke ventilatieroosters voorgeschreven in een netto doorlaat van het rooster. De openheid (in cm<sup>2</sup>) van het rooster ligt dus vast, hiervan mag niet worden afgeweken. In prestatie-eisen wordt een capaciteit (in dm<sup>3</sup>/s) van het rooster voorgeschreven. De prestatie-eis is daarmee geformuleerd in de grootte die voor de ventilatie van een ruimte van belang is, namelijk een luchtvolume-stroom. Er wordt niet bepaald hoe deze capaciteit moet worden gerealiseerd. Dat geeft dus meer ontwerpvrijheid.

### 2. Beperking van branduitbreiding:

Met prescriptieve voorschriften wordt voor de beperking van branduitbreiding een compartimentsgrens met een brandwerendheid voorgeschreven. De brandwerendheid van de wandconstructie ligt dus vast, hiervan mag niet worden afgeweken. In prestatie-eisen wordt een weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag (WBDBO) tussen het brandcompartiment en de aangrenzende ruimte geëist. Er wordt niet bepaald hoe deze WBDBO moet worden gerealiseerd. Dat geeft meer vrijheid. Immers, de WBDBO wordt niet alleen door de brandwerendheid van de scheidingsconstructie bepaald.

Tabel 1 geeft een beknopt overzicht van de belangrijkste voor- en nadelen van prescriptieve voorschriften en prestatie-eisen voor de borging van veiligheid.

Type regelgeving	Voordelen	Nadelen
Prescriptief	<ul style="list-style-type: none"><li>• Rechthoekige toetsing van de voorziening</li><li>• Geen engineeringsvaardigheden nodig</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Eisen liggen vast zonder dat het beoogde doel (veiligheidsniveau) is beschreven</li><li>• Verondersteld wordt dat het doel alleen op de beschreven wijze kan worden bereikt</li><li>• Hoog detailniveau van eisen</li><li>• Innovatiebelemmerend</li></ul>
Prestatie gericht	<ul style="list-style-type: none"><li>• Eisen beschrijven het beoogde doel</li><li>• Innovatiebevorderend: nieuwe kennis en technieken kunnen worden ingezet zodra deze beschikbaar zijn</li><li>• Internationale harmonisatie is mogelijk</li><li>• Eenvoudige eisen, minder gedetailleerd</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Engineeringsvaardigheden zijn noodzakelijk, ook voor toetsing</li><li>• Kwantificering van het veiligheidsniveau en validatie van de instrumenten hiervoor</li></ul>

Tabel 1: Prescriptieve voorschriften versus prestatie-eisen.

### **Beperkingen van de deterministische prestatie-eisen in het Bouwbesluit**

Hoewel het Bouwbesluit uitgaat van prestatie-eisen, blijken ook deze regelmatig ontwerpbelemmerend en innovatiebelemmerend te zijn. Dit komt doordat voor elke relevante grootheid afzonderlijk een prestatie-eis is gedefinieerd. Daardoor ontstaat een groot aantal eisen. Deze uitsplitsing in afzonderlijke prestatie-eisen is enerzijds een nadeel, want onderlinge relaties tussen de prestatie-eisen blijven buiten beschouwing. Een genuanceerde toetsing van veiligheid, waarin met projectspecifieke kenmerken rekening wordt gehouden ('maatwerk') is daardoor niet mogelijk. Anderzijds zijn er ook belangrijke voordelen. De toetsing is relatief eenvoudig; voor elke grootheid hoeft alleen gecontroleerd te worden of aan de gestelde grenswaarde wordt voldaan. Dit is een deterministische toetsing (goed/fout, ja/nee), eenduidig, reproduceerbaar en betrouwbaar.

Vervolgens zijn de prestatie-eisen voor brandveiligheid in het Bouwbesluit voornamelijk gericht op effectbeheersing. Met andere woorden, er wordt uitgegaan van een brand die zich heeft uitgebreid over de maximaal toegestane oppervlakte (brandcompartiment). Uitgaande van die brandsituatie zijn de prestatie-eisen erop gericht om een beheersbare situatie te realiseren waarin veilig gevlucht kan worden en ook de inzet van hulpdiensten mogelijk is. De kans op het ontstaan van brand wordt hierin niet beschouwd.

Het gevolg hiervan is dat er geen eenduidig veiligheidsrisico vastligt. Dit is geïllustreerd in figuur 1.



Figuur 1: Twee industriefuncties met een geheel verschillende brandrisico's, links een opslagfunctie met een hoge vuurbelasting en rechts een productiefunctie met een lage vuurbelasting maar wel een mogelijk grotere ontstaanskans op brand.

Figuur 1 laat twee industriefuncties zien, die vanuit de regelgeving beschouwd identiek zijn en dus aan dezelfde prestatie-eisen moeten voldoen. Echter, de kans op het ontstaan van een brand en de ontwikkeling daarvan is in de twee industriefuncties geheel verschillend. De ontstaanskans is in de opslagfunctie waarschijnlijk kleiner dan in de productiefunctie. Echter, de brand kan in de opslagfunctie sneller ontwikkelen dan in

de productiefunctie en daardoor eerder leiden tot een compartimentsbrand (flashover). Kortom, vanuit probabilistisch oogpunt is er een groot verschil tussen de beide industriefuncties.

Dit voorbeeld geeft aan dat de publiekrechtelijke regelgeving (Bouwbesluit) leidt tot verschillende risiconiveaus bij verschillende gebouwen, zelfs wanneer deze dezelfde gebruiksfunctie bezitten. Er kan niet gesproken worden van één veiligheidsniveau dat in de eisen van de regelgeving vastligt. Daarvoor is een probabilistische beschouwing noodzakelijk, waarin het veiligheidsniveau in risicodoelen wordt vastgelegd.

## 11.2 Probabilistische benadering van veiligheid

### Algemeen

Risico kan worden gedefinieerd als het product van de kans op het optreden van een incident en het effect dat hiervan het gevolg is. In dit product kunnen kans en effect verschillend worden gewogen, de relatie hoeft niet lineair te zijn. Het product mag een gegeven grenswaarde (toelaatbaar risico) niet overschrijden:

$$\text{Kans} \times (\text{effect})^n \leq \text{toelaatbaar risico}$$

Wanneer de kans op het optreden van het incident relatief groot is moet het effect daarvan juist klein zijn om het toelaatbare risico niet te overschrijden. Omgekeerd kan bij een kleine kans juist een groot effect worden toegestaan. Veiligheidseffecten worden vaak uitgedrukt in (letale) slachtoffers, schade-effecten in kosten. Andere grootheden zijn echter ook mogelijk.



Figuur 2: Koorddansen boven een krokodillenpoel is een voorbeeld van een risicovolle activiteit. Daarover bestaat geen discussie. Immers, zowel de kans van falen (het maken van een misstap) als het effect van falen (opgegeten worden door de krokodillen) is groot.

Risicoreductie is mogelijk door verkleining van de kans of het effect. Wanneer het effect moet worden verkleind kunnen ook redundante voorzieningen worden toegepast. Dat zijn voorzieningen die aanvullend zijn op de basisvoorziening. Wanneer bijvoorbeeld een tweede draagweg wordt toegepast in de bouwstructuur leidt het bezwijken van de eerste draagweg niet meteen tot het instorten van het totale gebouw. Wanneer een tweede vluchtroute wordt toegepast leidt het bezwijken van de eerste vluchtroute niet meteen tot het niet meer kunnen ontluchten van het gebouw. Dergelijke redundante voorzieningen worden soms ook in de regelgeving voorgeschreven.

Ook in het dagelijks leven komen redundante voorzieningen voor. Stel dat een gekocht product bij nader inzien niet bevalt. Als het product geruild kan worden is de consequentie ervan van geen betekenis, het gewenste product kan alsnog gekocht worden. Kopen zonder risico dus, het product ruilen is daarbij de redundante voorziening.

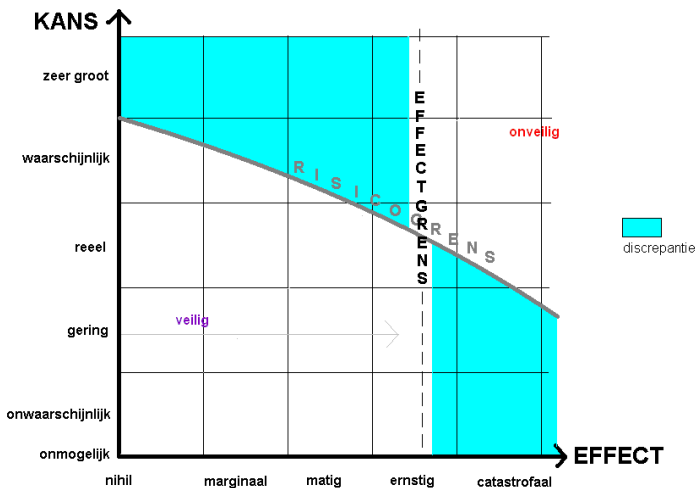


Figuur 3: Zulke acties zouden vaker moeten voorkomen. De kans op het ongewenste effect (wijn gekocht die niet lekker is) is 0, er is dus geen risico.

Het veiligheidsniveau van de publiekrechtelijke regelgeving (Bouwbesluit) is niet in een risicogrens te vertalen. De regelgeving beperkt zich tot effectbeheersing in een deterministische benadering. Kansen worden hierin niet of nauwelijks beschouwd. Dit leidt bij verschillende gebouwen tot verschillende veiligheidsniveaus, zelfs wanneer zij dezelfde gebruiksfunctie bezitten (zoals in figuur 1).

Een effectgrenswaarde (publiekrechtelijke regelgeving) en een risicogrenswaarde laten zich niet met elkaar vergelijken, zie figuur 4. Publiekrechtelijke doelen ten aanzien van slachtofferrisico's (bijvoorbeeld het toelaatbaar aantal slachtoffers per jaar per m<sup>2</sup> gebruiksooppervlakte van een gebouw, of de maximale investeringskosten per m<sup>2</sup> om tot een slachtofferreductie te komen) ontbreken daardoor dan ook.



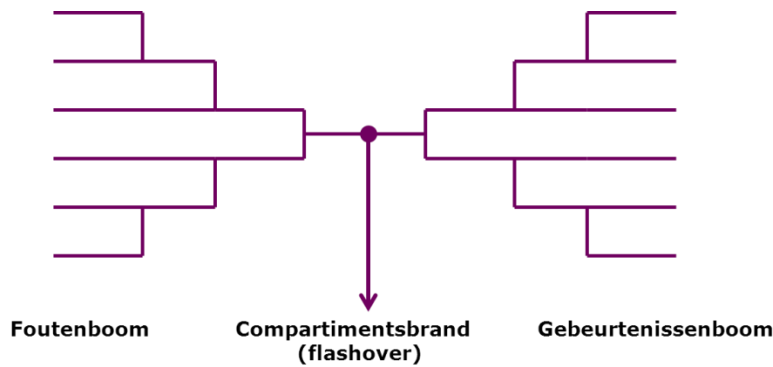


Figuur 4: De risicomatrix met daarin weergegeven de effectgrenswaarde volgens het Bouwbesluit. Door toepassing van een risicogrenswaarde ontstaan grote verschillen in veiligheidsniveau, vergeleken met de effectgrenswaarde.

### Foutenboom, gebeurtenissenboom en maatgevend incident

Het kenmerk van een probabilistische benadering is een risicoanalyse van min of meer waarschijnlijke scenario's. Deze scenario's bestaan uit een aaneenschakeling van gebeurtenissen. De gebeurtenissen die leiden tot het maatgevende incident kunnen in een *foutenboom* worden weergegeven. De gebeurtenissen die volgen uit het maatgevende incident worden in een *gebeurtenissenboom* of *effectenboom* weergegeven. Door foutenboom en gebeurtenissenboom aan elkaar te koppelen ontstaat een *vlinderdasmodel*. Het *maatgevende incident* zit als een knoop in het midden van de vlinderdas en verbindt de foutenboom (oorzaak) en de gebeurtenissenboom (gevolg) met elkaar. Dit is een populaire risicomethode die ook voor brandveiligheidsrisico's goed bruikbaar is.

Het lijkt voor de hand te liggen dat in de beoordeling van brandveiligheidsrisico's het ontstaan van brand als het maatgevende incident moet worden beschouwd. Dat is vaak het geval, zeker als het om een risicobeoordeling gaat van de ruimte waarin de brand ontstaan is. Echter, als het gaat om een risicobeoordeling in overige ruimten in het bouwwerk moet meestal het optreden van flashover, waarin de lokale brand overgaat in een volledig ontwikkelde compartimentsbrand als maatgevende incident worden beschouwd. Immers, een lokale brand is niet bedreigend buiten het brandcompartiment waar de brand ontstaan is; een volledig ontwikkelde compartimentsbrand is dat wel. Deze vormt een thermische belasting op zowel de draagstructuur als de brandscheidingen en vormt daarmee een bedreiging voor andere brandcompartimenten in het bouwwerk, de vluchtroutes voor de gebouwgebruikers en de aanvalsroutes voor de hulpverleners.



Figuur 5: Risicobenadering volgens het vlinderdasmodel, met het maatgevende incident in de knoop. Het maatgevende brandincident is vaak een compartimentsbrand (volledig ontwikkelde brand).

### 11.3 Risicodoelen

#### Veiligheidsrisico's

Bij veiligheidsrisico's gaat het meestal om persoonlijke veiligheid: veiligheid van de gebouwgebruikers, veiligheid van de hulpverleners, veiligheid van de mensen in de openbare ruimte of op buurpercelen.

Veiligheidsrisico's worden dan ook meestal uitgedrukt in aantallen slachtoffers, waarmee bedoeld wordt dodelijke slachtoffers. Echter, wanneer het gaat om slachtoffers ten gevolge van brand is het de vraag of dat beperkt moet blijven tot dodelijke slachtoffers, of dat ook slachtoffers met eerste- en tweedegraads brandwonden moeten worden meegeteld. Verwondingen door brand zijn immers permanent, hebben effect op de levenskwaliteit en vragen vaak permanente zorg. Natuurlijk is er een gradatie in slachtoffers; hoe deze gradatie in risicotermen moet worden meegewogen is onduidelijk.

Een andere moeilijkheid bij het toetsen van persoonlijke veiligheid is de doelkwantificering. Met andere woorden, wat is het toelaatbare slachtofferrisico? Is het acceptabel dat het aantal dodelijke slachtoffers gelijk blijft aan de afgelopen jaren, zou het zelfs mogen toenemen of moet er een streven zijn naar minder dodelijke slachtoffers? Internationaal gezien is Nederland een relatief brandveilig land, zie tabel 2.

Land	Aantal doden per jaar per 10 <sup>5</sup> inwoners als gevolg van brand	Land	Aantal doden per jaar per 10 <sup>5</sup> inwoners als gevolg van brand
Rusland	10,60	Frankrijk	1,26
Hongarije	3,31	Tsjechië	1,21
India	2,20	Duitsland	1,17
Finland	2,18	Australië	0,93
Zuid-Afrika	2,00	Nieuw Zeeland	0,92
Amerika (VS)	1,95	Spanje	0,86
Denemarken	1,64	Polen	0,80
Noorwegen	1,60	Oostenrijk	0,74
Canada	1,58	Nederland	0,63
Japan	1,52	Zwitserland	0,53
Verenigd Koninkrijk	1,49	Italië	0,30
België	1,47	China	0,20
Zweden	1,35		

Tabel 2: Dodelijke slachtoffers door brand, gerangschikt naar land (Quintiere, 1998).

Het zal duidelijk zijn dat het formuleren van risicodoelen in termen van toelaatbaar aantal slachtoffers tot veel discussie leidt. Het is dan ook niet te verwachten dat er politieke bereidheid is om tot een dergelijke doelkwantificering te komen.

### Schaderisico's

Schadebeperking wordt in de publiekrechtelijke regelgeving slechts beperkt meegewogen. Alleen schade aan de openbare ruimte (milieu) en de buurpercelen (eigendommen van derden) is publiekrechtelijk relevant. Schade aan het eigen perceel, het eigen gebouw of de inventaris daarvan is geen zaak om publiekrechtelijk te regelen, maar is een zaak voor de gebouweigenaar zelf of zijn verzekeraar. Wanneer het gebouw of de inventaris als cultureel erfgoed aangemerkt moet worden, is schade hieraan natuurlijk niet meer een zaak voor de gebouweigenaar alleen. In dat geval is ook schade aan het eigen gebouw of de inventaris daarvan een publiekrechtelijk issue.

Het kan voorkomen dat een verzekeraar van een gebouw aanvullende (privaatrechtelijke) eisen stelt aan de brandveiligheid die verder gaan dan de publiekrechtelijke eisen. Het doel daarvan zal het beperken van het schaderisico of het total loss risico zijn. Daarbij

neemt de verzekeraar ook de risico's vanuit de omgeving naar het betreffende gebouw in ogenschouw, terwijl het publiekrecht juist omgekeerde prioriteit heeft: het gebouw als bron van gevaar voor de omgeving.

## 11.4 Kwantificeren van risicodoelen

### Impliciete risicodoelen in het Bouwbesluit

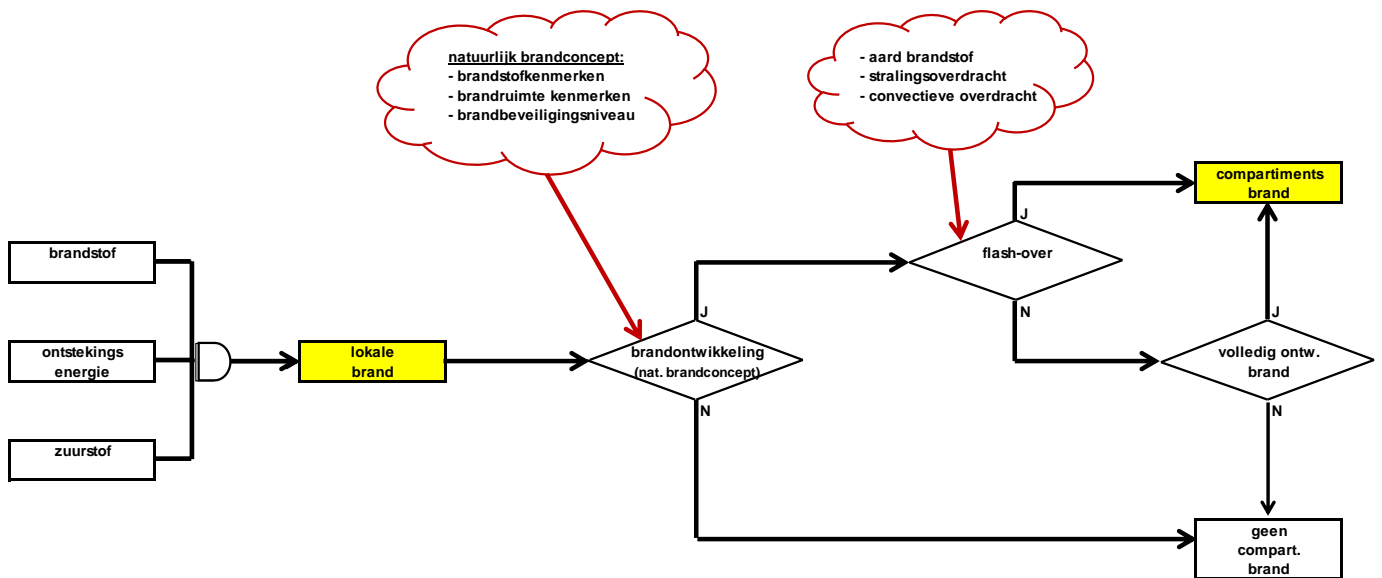
#### *De kans op het ontstaan van brand*

Het Bouwbesluit is gericht op effectbeheersing. Dat wil zeggen dat daarin voorzieningen en maatregelen worden voorgeschreven die noodzakelijk zijn om in geval van brand voldoende veiligheid te bieden aan gebouwgebruiker, hulpverleners en andere aanwezigen in het gebouw of in de buurt van het gebouw.

Het uitgangspunt daarvoor is een compartimentsbrand: een volledig ontwikkelde brand over het maximaal toegestane uitbreidingsgebied (het brandcompartiment). Er zijn wel eisen opgenomen die een onnodig snelle brandontwikkeling tegen te gaan (zoals de Euroklassen van bouwproducten of de brandslanghaspels in het Bouwbesluit), maar de kans op het optreden van een compartimentsbrand blijft in de publiekrechtelijke regelgeving buiten beschouwing.

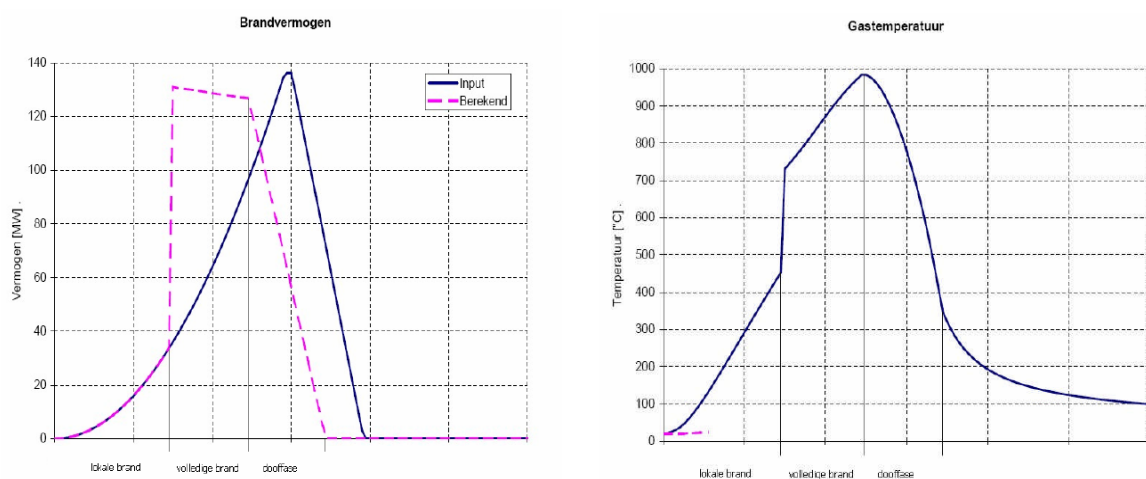
Vanuit risicoperspectief is die kans op een compartimentsbrand uiteraard relevant. Immers, wanneer die kans nihil is, dan is elke maatregel voor effectbeheersing overbodig. Bij een toenemende kans op een compartimentsbrand zijn ook de maatregelen voor effectbeheersing van toenemend belang.

De kans op het ontstaan van brand hangt af van de aanwezigheid van brandstof, zuurstof en ontstekingsbronnen. De kans dat deze brand zich ontwikkelt via flashover tot een compartimentsbrand, is afhankelijk van het installatietechnische beveiligingsniveau en de bouwkundige eigenschappen (grootte, vorm, materialisering, openingen e.d.) van het brandcompartiment, zie figuur 6.



Figuur 6: Foutenboom met daarin weergegeven de twee maatgevende brandincidenten: het ontstaan van een lokale brand (maatgevend incident voor persoonlijke veiligheid binnen het brandcompartiment) en het optreden van flashover (maatgevend incident voor persoonlijke veiligheid buiten het brandcompartiment).

Aan deze foutenboom kan invulling worden gegeven met een natuurlijk brandconcept. In een natuurlijk brandconcept is het mogelijk om projectspecifieke kenmerken van het gebouw en de brandstof te waarderen. Ook wordt in het natuurlijk brandconcept onderscheid gemaakt tussen de pre-flashover fase (de lokale brand) en de post-flashover fase (de compartimentsbrand). In genormeerde brandcurves (zoals de standaard brandkromme) is dat niet mogelijk. Daardoor is het gebruik van genormeerde brandcurves in een risicobenadering niet zinvol.



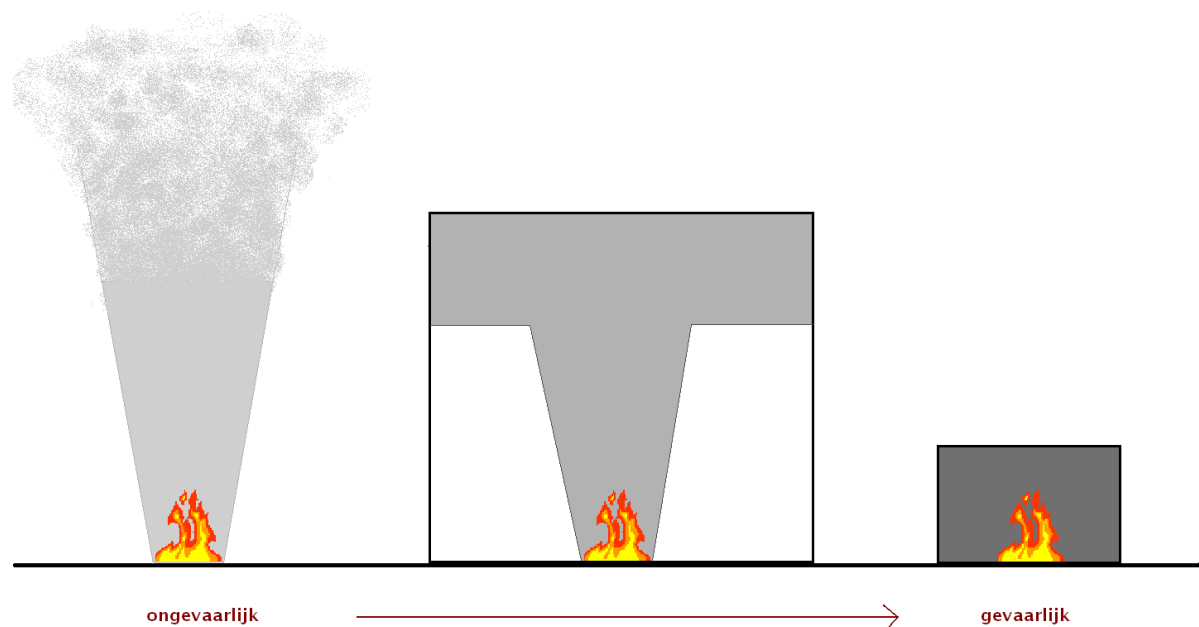
Figuur 7: Brandverloop in een ruimte, in de linker figuur het brandvermogen in de tijd en in de rechter figuur de daaruit volgende brandtemperatuur in de tijd. In de linker figuur zijn duidelijk de twee maatgevende incidenten zichtbaar: het ontstaan van brand en het optreden van flashover.

Gedurende de lokale brand (pre-flashover fase) is de thermische belasting gering in vergelijking met de compartimentsbrand (post-flashover fase). Dat wil niet zeggen dat de lokale brand risicoloos is, maar dat hier alleen sprake is van lokale risico's. Personen zijn in die fase vaak al in gevaar, terwijl veel bouwproducten dan nog geen enkele respons geven.

De kans op succesvol ingrijpen in het brandscenario is groter naarmate het langer duurt voordat flashover optreedt. Dit is het geval in grote (met name hoge) brandcompartimenten. Deze zijn dus niet perse risicovoller als het gaat om brandveiligheid dan kleine brandcompartimenten, zie figuur 8. Het gevaar verspreidt zich in feite over een groter deel van het gebouw, maar wordt daardoor ook kleiner. Er worden dan bijvoorbeeld meer mensen blootgesteld aan gevaar van een lager niveau.

Het is ook mogelijk om met installatietechnische maatregelen de tijdsduur tot flashover te verlengen. Een RWA-installatie (rook- en warmteafvoer installatie) is zo'n voorziening. De meest effectieve installatie hiervoor is een automatische blusinstallatie.

Offensief optreden in het brandcompartiment, waarbij de lokale brand wordt gedoofd, behoort dan tot de mogelijkheden en voorkomt een compartimentsbrand met de bijbehorende effecten en risico's.



Figuur 8: Een openluchtbrand is relatief ongevaarlijk. Een brand in een compartiment is bedreigender voor mens en constructie vanwege de beperkingen die aan het ruimtevolumen en de afvoer van energie worden opgelegd. Een kleine besloten brandruimte leidt het snelst tot flashover.

### *De effecten van een compartimentsbrand*

De publiekrechtelijke prestatie-eisen ten aanzien van brandveiligheid zijn opgenomen in de volgende afdelingen in hoofdstuk 2 van het Bouwbesluit (veiligheid):

- Sterkte bij brand
- Beperking van het ontstaan van een brandgevaarlijke situatie
- Beperking van de ontwikkeling van brand en rook
- Beperking van de uitbreiding van brand en verspreiding van rook
- Vluchtroutes
- Hulpverlening bij brand

Ook zijn er nog afdelingen in het Bouwbesluit met gebouwspecifieke eisen, namelijk voor hoge gebouwen, ondergrondse gebouwen, tunnels en het plasbrandaandachtsgebied.

Daarnaast zijn in hoofdstuk 6 van het Bouwbesluit (installaties) afdelingen opgenomen met eisen aan brandbeveiligingsinstallaties in relatie tot ontdekking en melding van de brand, vluchtveiligheid, brandbestrijding en bereikbaarheid.

In plaats van de prestatie-eisen voor effectbeheersing die in de afdelingen van het Bouwbesluit zijn opgenomen, kunnen ook de functionele eisen in die afdelingen worden gehanteerd. Door aan die functionele eisen risicodoelen te koppelen is een integrale beschouwing van veiligheid mogelijk. In deze integrale aanpak gaat het dus niet meer om effectbeheersing maar om risicobeheersing. Het voordeel van het uitdrukken van veiligheid in doelvoorschriften met risicogrenswaarden is dat het veiligheidsniveau eenduidig is; iets wat met effectgrenswaarden principieel onmogelijk is.

De functionele eisen in deze afdelingen in het Bouwbesluit hebben in hoofdlijn betrekking op de volgende doelen:

#### Basis (passieve brandveiligheid):

- Instandhouding omgeving en beperking van schade aan openbare ruimte en buurpercelen
- Instandhouding bouwwerk en vluchtroutes (brandwerendheid m.b.t. bezwijken van de draagconstructie en gebouwstructuur)
- Brandbeheersing door beperking van branduitbreiding: instandhouding brandcompartimentering (max. oppervlakte; WBDBO-eisen; materialisering scheidingsconstructies)
- Rookbeheersing door beperking van rookverspreiding: instandhouding subbrandcompartimentering (max. loopafstanden; WBDBO-eisen; materialisering scheidingsconstructies)
- Instandhouding vluchtroute (beschermde en extra beschermde vluchtroute, eventueel een redundante vluchtroute; materialisering scheidingsconstructies)

Additioneel (actieve brandveiligheidsmaatregelen):

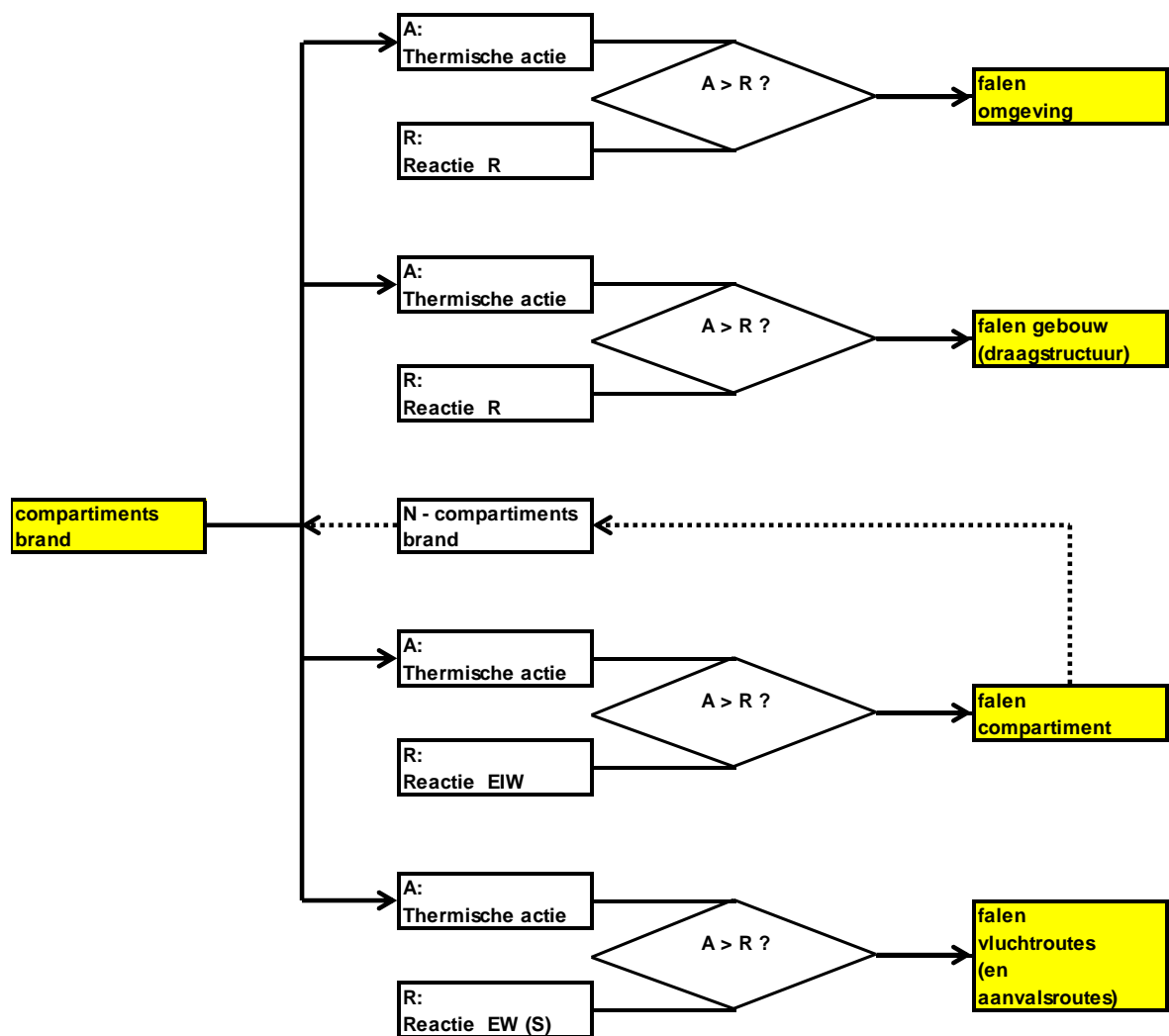
- Brandbeveiligingsinstallaties (sprinkler, BMI, OAI, BSH, DBL, etc.)
- Brandveilig gebruik (organisatie en management)
- Voorzieningen voor ondersteuning van de repressieve inzet

Tabel 3 geeft een overzicht van de klassering van risicodoelen met de bijbehorende effecten. Deze zijn in figuur 9 weergegeven in een algemene gebeurtenissenboom, waarin de compartimentsbrand als maatgevend incident is aangemerkt.

Instandhouding omgeving	Falen leidt tot schade (en mogelijk zelfs slachtoffers) aan buurpercelen en openbare ruimte; <i>schade en slachtoffers door mechanisch effect, thermisch effect en/of verontreiniging met rook.</i>
Instandhouding draagstructuur	Falen leidt tot het bezwijken van het gehele gebouw (total loss); <i>(schade en) slachtoffers door mechanisch effect.</i>
Instandhouding compartimenten (brand)	Falen leidt tot een grotere branduitbreiding dan bedoeld; <i>(schade en) slachtoffers door thermisch effect.</i>
Instandhouding compartimenten (rook)	Falen leidt tot een grotere rookverspreiding dan bedoeld; <i>(schade en) slachtoffers door verontreiniging met rook.</i>
Instandhouding vluchtroute en aanvalsroute	Falen kan optreden indien de specifieke draagconstructie bezwijkt, maar ook indien de specifieke scheidingsconstructie bezwijkt. <i>Slachtoffers door mechanisch effect, thermisch effect en/of verontreiniging met rook.</i>

Tabel 3: (Sub)risicodoelen en effecten.





Figuur 9: Gebeurtenissenboom, met een uitsplitsing naar de (sub)risicodoelen volgens de publiekrechtelijke regelgeving, met de compartimentsbrand als maatgevend incident.

Met de (sub)risicodoelen volgens tabel 3 en figuur 9 wordt discussie over toelaatbare slachtofferaantallen vermeden, terwijl er een goede aansluiting is op de impliciete risicodoelen in de publiekrechtelijke regelgeving. Voor elk risico subsysteem kan het risicodoel worden geformuleerd in een toelaatbare faalkans van het risico subsysteem.

Voor constructieve veiligheid wordt de hier beschreven methodiek gevolgd en worden risicodoelen geformuleerd in toelaatbare bezwijkkansen van de draagstructuur (Eurocode). Voor de overige risico subsystemen is een dergelijke normering nog niet ontwikkeld.

### **Van de referentiesituatie naar een ontwerpsituatie**

In de voorgaande paragraaf is duidelijk gemaakt dat de functionele eisen in het Bouwbesluit in risicodoelen vertaald kunnen worden. Echter, deze risicodoelen zijn niet expliciet gemaakt in het Bouwbesluit.

Dat is een probleem wanneer het brandveiligheidsniveau projectspecifiek moet worden beschouwd, bij voorbeeld omdat het betreffende project niet past in het voorzieningenniveau dat in de prestatie-eisen van het Bouwbesluit is voorgeschreven. Doordat de risicodoelen niet expliciet benoemd worden in het Bouwbesluit zullen deze vanuit een referentiecaser die wel precies past binnen het voorzieningenniveau van het Bouwbesluit moeten worden gedefinieerd. Daarbij moet in ogenschouw worden genomen dat die referentiecaser slechts een invulling is van het veiligheidsniveau voor dat project. Het Bouwbesluit kent niet één afgebakend veiligheidsniveau, waardoor elk project in principe een ander veiligheidsniveau bezit. Om die reden is het belangrijk dat de referentiecaser lijkt op het beschouwde project. Vervolgens kunnen deze risicodoelen gebruikt worden in de ontwerp-caser, waarin het veiligheidsniveau met projectspecifieke voorzieningen wordt gerealiseerd.

Die projectspecifieke voorzieningen kunnen bouwkundig, installatietechnisch of organisatorisch van aard zijn ('BIO'-maatregelen volgens het model Integrale brandveiligheid bouwwerken). De integraliteit van de voorzieningen of maatregelen wordt geborgd in het brandbeveiligingsconcept, of Integraal Plan Brandveiligheid (IPB). Daarin zijn ook de risicodoelen opgenomen waaraan moet worden getoetst. Die toetsing is mogelijk in een probabilistische benadering, waarmee tevens de betrouwbaarheid van de maatregelen kan worden gewogen. Dat is belangrijk, want vaak zijn organisatorische maatregelen minder betrouwbaar dan installatietechnische of bouwkundige maatregelen.



Figuur 10: De betrouwbaarheid van organisatorische maatregelen laat weleens te wensen over, omdat de betrouwbaarheid van menselijk handelen relatief laag is. Juist doordat we intelligente zelfdenkende individuen zijn, zijn we geneigd te handelen naar eigen inzicht. Daarbij overschatten we onszelf, maken we inschattingfouten en vergeten we belangrijke randcondities. En soms leggen we dan ook nog vast hoe dom we zijn.

Om projectspecifieke voorzieningen te kunnen waarderen in risicodoelen ten opzichte van de referentiesituatie (Bouwbesluit) worden de onderstaande stappen gevolgd:

1. Stel een referentiecaser vast die vergelijkbaar is met de ontwerpcaser, ingericht volgens het Bouwbesluit. Met 'vergelijkbaar' wordt bedoeld dat het gaat om eenzelfde gebruiksfunctie met dezelfde beoogde personenbezetting in een lay-out die overeenkomt met, of lijkt op de ontwerpcaser.
2. Bepaal van de verschillende risico (sub)systemen de faalkans in de referentiecaser, dus rekening houdend met het in het Bouwbesluit voorgeschreven voorzieningenniveau.
3. De in punt 2 gevonden faalkansen van de verschillende risico (sub)systemen gelden als risicogrenswaarden voor de ontwerpcaser.
4. Bepaal in de ontwerpcaser het projectspecifieke voorzieningenniveau zodanig, dat de risicogrenswaarden van punt 3 niet worden overschreden.

## 11.5 Probabilistische benadering voor het branduitbreidingsgebied

Als voorbeeld wordt in deze paragraaf het risico (sub)systeem compartimentering of maximale branduitbreidingsgebied beschouwd. Enerzijds omdat dit risico (sub)systeem zich goed leent voor een praktische uitwerking, anderzijds ook omdat overschrijding van de maximale brandcompartimentsgrootte regelmatig aan de orde is. In deze paragraaf wordt een gesprinklerd voorbeeld en een niet-gesprinklerd voorbeeld beschouwd.

### **Gesprinklerd groot brandcompartiment**

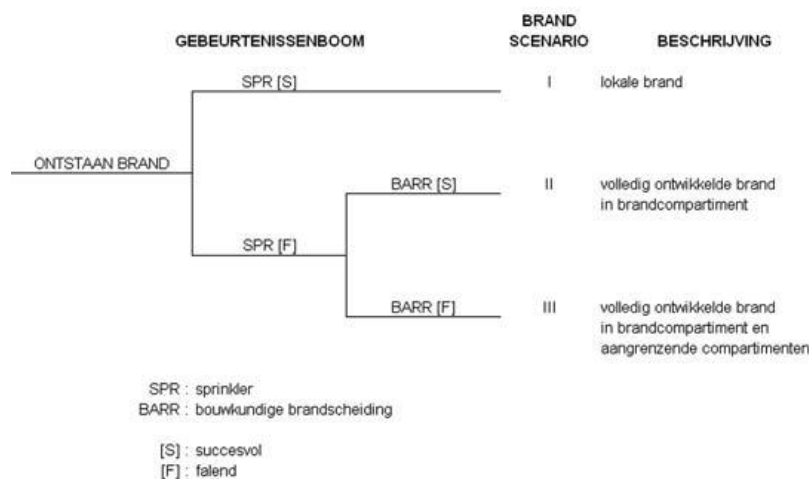
Een sprinklerbeveiliging komt niet voor in het Bouwbesluit, maar is wel degelijk een zeer efficiënte voorziening voor brandbeheersing. Het doel van een sprinklerbeveiliging is om een beginnende brand beperkt te houden tot een lokale brand, totdat de brandweer arriveert en de brand kan doven. De kans op flashover is dus nihil, een compartimentsbrand (het maatgevende incident) kan daardoor niet optreden, dus voorzieningen om de rest van het bouwwerk en de omgeving ervan te vrijwaren van de risico's van een compartimentsbrand zijn in principe niet noodzakelijk.

Deze redenering gaat op wanneer de sprinklerbeveiliging een faalkans bezit van 0. In de praktijk is dat niet realiseerbaar. De faalkans van een sprinklerinstallatie ligt in de orde van ruim 5% voor een niet-gecertificeerde sprinklerinstallatie (geen structurele inspectie en onderhoud) en 1 a 2% voor een gecertificeerde sprinklerinstallatie (structureel inspectie en onderhoud). Er blijft dus een kans op een compartimentsbrand aanwezig, al is deze zeer klein.

Als referentiesituatie kan conform het Bouwbesluit een toelaatbaar branduitbreidingsgebied worden gehanteerd van 1000 m<sup>2</sup> (nieuwbouw, algemeen), respectievelijk 2500 m<sup>2</sup> (nieuwbouw, industriefunctie). Daarbij wordt impliciet een faalkans van de compartimentsgrenzen verondersteld van 0. Dit is in werkelijkheid een te optimistische voorstelling van zaken, bouwkundige voorzieningen bezitten evengoed faalkansen. De referentiesituatie is daardoor feitelijk te streng gekozen, het is een conservatief uitgangspunt voor de risicobenadering.

In de ontwerpsituatie wordt een gecertificeerde spinklerbeveiliging toegepast, waarbij een faalkans wordt aangehouden van 2%. Dat wil zeggen dat de kans dat de brand zich uitbreidt tot een compartimentsbrand 2% bedraagt, zodat de kans dat de brand lokaal blijft met een omvang van minder dan pakweg 100 m<sup>2</sup> 98% bedraagt. Bij een brandcompartimentsoppervlakte van 10.000 m<sup>2</sup> bedraagt de risico-oppervlakte bij toepassing van een gecertificeerde sprinklerbeveiliging:  $0,02 \times 10.000 + 0,98 \times 100 = 298 \text{ m}^2$ .

Dit is aanmerkelijk minder dan de risico-oppervlakte die het Bouwbesluit toestaat (in nieuwbouw situaties 1000 m<sup>2</sup> resp. 2500 m<sup>2</sup>), zodat de sprinklerinstallatie met betrekking tot het branduitbreidingsgebied een tenminste gelijkwaardig is aan het publiekrechtelijke veiligheidsniveau.



Figuur 11: Foutenboom voor de ontwikkeling van een beginnende brand tot een lokale brand (brandscenario I), een compartimentsbrand (brandscenario II) of een gebouwbrand (brandscenario III) bij aanwezigheid van een sprinklerbeveiliging.

### **Niet-gesprinklerd groot brandcompartiment**

Een automatische blusinstallatie (sprinklerbeveiliging) is, mits goed gedimensioneerd, vrijwel altijd succesvol. Voor een handmatige succesvolle blussing van een lokale brand door de brandweer moet voldoende water beschikbaar zijn, terwijl de omstandigheden zodanig moeten zijn dat dit water ook op de brandhaard gebracht kan worden. Wanneer dat niet het geval is, zal een repressieve inzet in het compartiment waar de brand woedt niet mogelijk zijn en zal de brand zich uitbreiden tot een compartimentsbrand. Wanneer eenmaal een compartimentsbrand ontstaan is, beperkt het optreden van de brandweer zich tot het koelen van de compartimentsgrenzen, om zo de buurpercelen en de openbare ruimte te beschermen tegen de brand.



Figuur 12: De brandweerinzet bij een volledig ontwikkelde uitslaande brand beperkt zich tot koelen ter plaatse van de perceelsgrenzen.

Wanneer een gebouw zodanig is gecompartmenteerd dat de maximale brandcompartimentsgrootte de grenswaarde van het Bouwbesluit niet overschrijdt, is brandweerinzet in het compartiment uit oogpunt van brandbeheersing niet noodzakelijk. Het voorkomen van uitbreiding van de brand naar buiten het brandcompartiment is voldoende.

Bij grotere compartimenten zijn aanvullende maatregelen noodzakelijk. Een brandweerinzet in het compartiment kan zo'n aanvullende maatregel zijn. De condities in het compartiment moeten een brandweerinzet dan wel mogelijk maken. Dat is afhankelijk van bouwkundige, installatietechnische en brandstofafhankelijke kenmerken. Er zijn vaak diverse brandscenario's mogelijk, die soms wel en soms niet tot een verantwoorde brandweerinzet leiden. Door de waarschijnlijkheden van die brandscenario's te koppelen aan de compartimentsgrootte kan een risico-oppervlakte voor branduitbreiding gedefinieerd worden. Of die risico-oppervlakte toelaatbaar is volgt uit de vergelijking met de grenswaarde voor het maximale branduitbreidingsgebied conform het Bouwbesluit (referentiecassus).

### *Defensieve of offensieve brandbestrijding?*

Er zijn dus kennelijk twee varianten van het beheersen van brand: het defensief laten uitbranden van het compartiment en het offensief benaderen van de brandhaard om deze in omvang te beperken. De brandweerinzet bij het defensief laten uitbranden van het compartiment beperkt zich tot het koelen ter plaatse van de perceelsgrenzen, om buurpercelen en openbare ruimte zoveel mogelijk te vrijwaren van schade. De brandweerinzet bij het offensief benaderen van de brandhaard is erop gericht de lokale brand te doven voordat deze tot flashover leidt en daarmee een compartimentsbrand wordt.

Een a priori keuze tussen een offensieve en een defensieve inzet is niet mogelijk. Immers, in de praktijk wordt deze beslissing door de bevelvoerder genomen. Zijn keuze is afhankelijk van onder andere de brandomvang, de bouwkundige constructies, de condities in de brandruimte en de daarin eventueel nog aanwezige gebouwgebruikers. Dit betekent dat er soms offensief en soms defensief wordt opgetreden. Op basis van de te verwachten brandscenario's kan met behulp van het natuurlijk brandconcept in de ontwerpfase al wel een inschatting worden gemaakt van de kans op een succesvolle offensieve inzet.

De brandomvang en de condities in de brandruimte hangen af van de eigenschappen van de brandruimte (openingen, thermische massa, materialisering), eigenschappen van de brandstof (vermogensdichtheid, tijdconstante, verdeling van de brandstof, ontstekingsrisico voor flashover e.d.), maar ook de opkomst- en inzettijd van de brandweer zelf (water op het vuur). Dit bepaalt de benodigde hoeveelheid bluswater en de voorzieningen die daarvoor nodig zijn, in relatie tot de methode van blussing. De opkomsttijd kan door automatische branddetectie en doormelding worden verkort. De toegankelijkheid van het gebouw is een bepalende factor in de inzettijd. De toegankelijkheid kan met installatietechnische en/of organisatorische maatregelen worden geborgd. Daarbij moet de sterkte van de constructie in de aanvalsroute voldoende zijn voor een veilig repressief optreden.

### *Scenario's en waarschijnlijkheden*

In het brandcompartiment worden de mogelijke brandscenario's en hun waarschijnlijkheden geïnventariseerd. De consequenties ervan in het compartiment worden op basis van het natuurlijk brandconcept gesimuleerd.

Op het moment van brandweerinzet kunnen de condities in het brandcompartiment, de brandomvang en de bluswaterbehoefte worden bepaald. Indien hieruit randvoorwaarden volgen die een succesvolle offensieve brandweerinzet mogelijk maken is het maximale branduitbreidingsgebied gelijk aan de brandomvang op het moment van water op het vuur. Indien een succesvolle offensieve brandweerinzet niet gegarandeerd kan worden is het maximale branduitbreidingsgebied gelijk aan de totale compartimentsoppervlakte.

Belangrijke randvoorwaarden voor een offensieve brandweerinzet zijn:

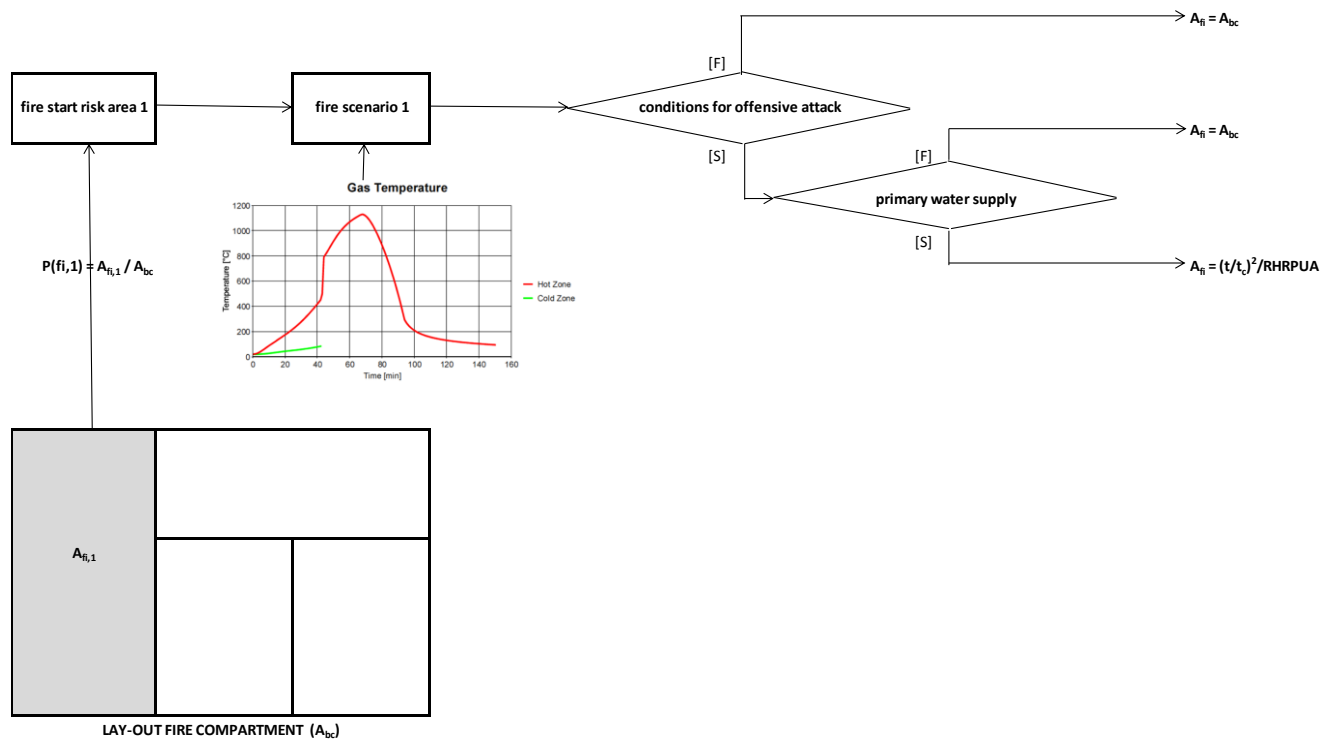
- Instandhouding draagconstructie: Het eventueel lokaal bezwijken van constructie-elementen in de buurt van de brandhaard mag niet leiden tot het bezwijken van de hele draagconstructie van de brandruimte.
- Acceptabele ruimtecondities: Een voldoende rookvrije hoogte in het compartiment voor zicht op de brand en oriëntatie in de ruimte. Daarnaast mag de warmtestraling vanaf de rooklaag niet bedreigend zijn voor hulpverleners.
- Voldoende primaire bluswatercapaciteit: Het brandvermogen dat zich op het moment van operationele inzet ontwikkeld heeft moet met de primaire bluswatercapaciteit kunnen worden geblust.

De eerste voorwaarde houdt in dat bij lokaal bezwijken van constructie-elementen de rest van de draagconstructie in de brandruimte intact blijft en bovendien ook stabiel blijft.

De tweede voorwaarde houdt in de praktijk in dat de rookvrije hoogte tenminste circa 2,5 meter bedraagt en de rooklaagtemperatuur lager is dan circa 300 °C. De warmtestralingsflux op een hulpverlener met beschermende kleding (en hoofddekse) mag in elk geval de grenswaarde van 3,5 kW/m<sup>2</sup> niet overschrijden. Daarnaast mogen er vanuit de aan de rooklaag grenzende constructies geen brandbare gassen opgenomen worden in de rooklaag, omdat er anders een explosief mengsel in de rooklaag kan ontstaan waardoor rookgasexplosie kan optreden.

De derde voorwaarde houdt in dat de brand zodanig beperkt moet zijn in vermogen dat die met de primaire bluswatercapaciteit kan worden geblust. Bovendien moeten er bij de eerste inzet voldoende materieel en hulpverleners zijn om die primaire bluswatercapaciteit ook daadwerkelijk op de brandhaard te kunnen brengen. Met een primaire bluswatercapaciteit van 30 tot 60 m<sup>3</sup>/h kan in theorie een lokale brand van 30 MW nog worden geblust, mits die watercapaciteit ook effectief op de brandhaard gebracht kan worden. Dat vergt de nodige inzet van materieel en hulpverleners.

De waarschijnlijkheid van een brandscenario wordt bepaald door de gebruiksoppervlakte waarover het brandscenario kan optreden, in relatie tot de totale gebruiksoppervlakte van het compartiment. De ontstaanskans van brand wordt daarbij impliciet gelijkmatig verdeeld over de compartimentsoppervlakte verondersteld en blijft verder buiten beschouwing. Daarmee sluit de methode goed aan bij het Bouwbesluit waarin de ontstaanskans van brand evenmin wordt beschouwd (feitelijk gelijk gesteld wordt aan een referentiekans van 1).

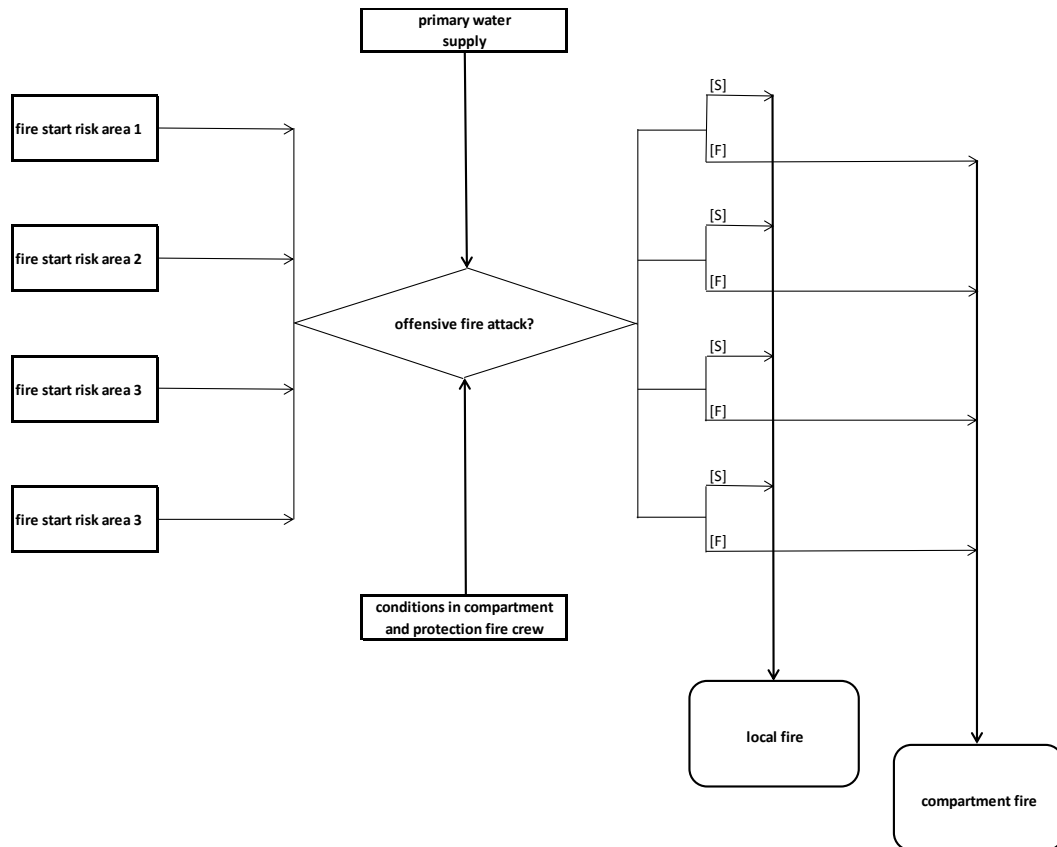


Figuur 13: Waarschijnlijkheid en consequenties per scenario.

Op deze wijze kan voor elk brandscenario de risico-oppervlakte worden bepaald. De totale risico-oppervlakte volgt uit de sommatie van de risico-oppervlakten van alle mogelijke brandscenario's. De totale risico-oppervlakte wordt vergeleken met de grenswaarde voor het maximale branduitbreidingsgebied conform het Bouwbesluit.

Wanneer de totale risico-oppervlakte de grenswaarde voor het maximale branduitbreidingsgebied conform het Bouwbesluit niet overschrijdt kan met het voorzieningenniveau voor de compartimentsgrenzen volgens het Bouwbesluit worden volstaan. Dat betekent bijvoorbeeld dat ter plaatse van de compartimentsgrenzen de volgens het Bouwbesluit noodzakelijke *weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag* moet worden gehanteerd.





Figuur 14: Een lokale brand kan offensief worden bestreden wanneer condities in de brandruimte voldoende veilig zijn voor hulpverleners en de watercapaciteit toereikend is voor blussing van het aanwezige brandvermogen. Niet elk brandscenario staat een offensieve inzet toe, er zijn ook brandscenario's waarbij offensieve inzet niet mogelijk is of die inzet faalt, zodat de brand alsnog uitbreidt tot een volledig ontwikkelde compartimentsbrand.

### Voorbeeldcasus: veestal in een groot brandcompartiment

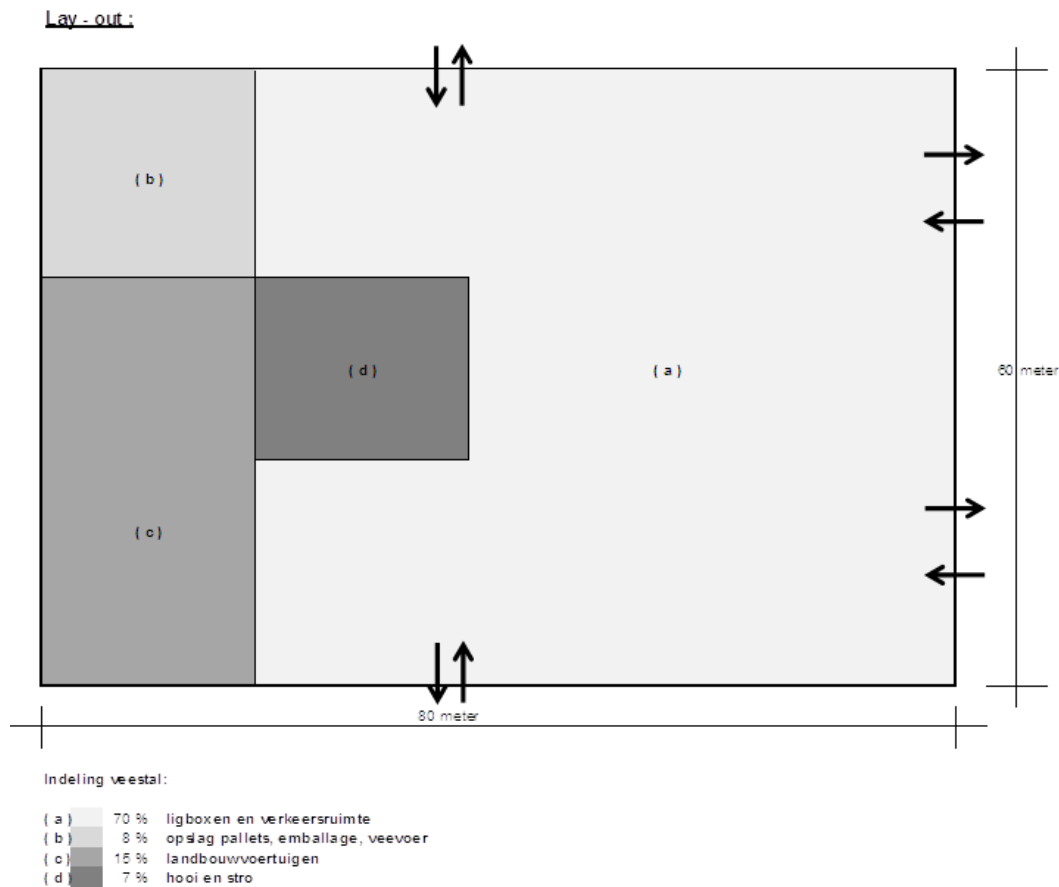
Een veestal met een oppervlakte van 4800 m<sup>2</sup> bevat ligboxen voor rundvee, een stalingsplaats voor landbouwvoertuigen, een kleine opslag van pallets, emballage en veevoeder en een kleine voorraad hooi en stro.

De veestal mag brandcompartimenten bevatten met een grootte van maximaal 2500 m<sup>2</sup> (volgens Bouwbesluit 2012, lichte industriefunctie, nieuwbouwniveau). De veestal overschrijdt deze oppervlakte, maar een brandcompartimentering is vanuit functioneel oogpunt onwenselijk. Een sprinklerbeveiliging kan hiervoor als gelijkwaardige oplossing worden aangedragen, maar een sprinklerbeveiliging is voor veestallen vrijwel nooit kostenefficiënt. Er wordt echter verwacht dat een offensieve brandweerinzet bij veel brandscenario's goed mogelijk is, zodat er een geringe kans is op een compartimentsbrand. Vanwege die geringe kans kan een brandcompartiment groter dan 2500 m<sup>2</sup> worden toegestaan.



Figuur 15: Rundveeboxen in de veestal (links) en landbouwvoertuigen in de veestal (rechts).

De lay-out van de veestal is in de onderstaande figuur (plattegrond) weergegeven. In de lay-out is een globale indeling gemaakt van gebieden met kenmerkende activiteiten in de stal. Het grootste gebied wordt ingenomen door de rundveeboxen, maar ook de gebieden voor landbouwvoertuigen, emballage en veevoeder, hooi en stro moeten worden beschouwd vanwege de specifieke brandscenario's die daar kunnen optreden.



Figuur 16: Schematische lay-out van de gebieden met de specifieke scenario's.

Zo ontstaan vier gebieden met elk hun eigen brandscenario. Op basis van het natuurlijk brandconcept zijn de consequenties van de brandscenario's in de vier gebieden inzichtelijk gemaakt, op het moment van water op het vuur (brandweer operationeel: 32 minuten na ontstaan brand). Op dat moment blijkt het scenario in gebied b tot problemen te leiden voor een offensieve inzet. De rookvrije hoogte is in dat geval minder dan 2,5 meter, dat wordt gezien als onvoldoende, zie figuur 17. Dit figuur geeft een samenvatting van de ruimtecondities en brandcondities op het moment van brandweeroptreden. De ruimtecondities zijn van belang voor de veiligheid van de hulpverleners (brandweer), de brandcondities zijn van belang voor een toetsing aan de beschikbare primaire watercapaciteit. Als de brand groter is dan met die primaire watercapaciteit geblust kan worden heeft offensief optreden geen zin.

<b>Compartment</b>		compartment	<b>veestal</b>				
		grootte $A_{bc}$	4800 m <sup>2</sup>				
		hoogte $h_{bc}$	5 m				
<b>Brandweerinzet</b>		mogelijk offensieve inzet oppervlakte	4800 m <sup>2</sup>				
		ontdekkings- en alarmeringstijd	15 min				
		opkomsttijd	10 min				
		inzettijd	7 min (LD)				
		benodigde tijd voor water op vuur	32 min (LD)				
		capaciteit 1 TS (60 m <sup>3</sup> /uur)	1000 l/min (LD)				
			lage druk				
<b>Brandscenario's</b>							
scenario	kans	kenmerken op tijdstip water op vuur (natuurlijk brandconcept) (LD)					
lage druk inzet	$p_i$	$K_{ref}$	$t_c$	$Q_{fi}$ (LD)	$A_{fi}$ (LD)	$H_r$ (LD)	$T_r$ (LD)
	[-]	[kW/m <sup>2</sup> ]	[s]	[MW]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[°C]
a	0.7	100	600	8	80	3.2	70
b	0.08	500	150	64	128	2.2	240
c	0.15	500	300	16	32	3.6	180
d	0.07	250	300	16	64	2.8	140
<b>Consequenties (risico brandoppervlakte)</b>							
scenario	opp. [m <sup>2</sup> ]	waterbehoefte [l/min]	binnenaanval? [j/n]	risico-opperv. [m <sup>2</sup> ]			
		(LD)	(LD)	(LD)			
a	3360	171	j	56			
b	384	512	n	384			
c	720	128	j	5			
d	336	256	j	4			
				0			
	4800	restrisico compartimentsbrand		0			
				<b>TOTAAL</b>		<b>449</b> m <sup>2</sup>	
						(LD)	
NB: niet gecorrigeerd op ontstaanskans van brand							

Figuur 17: Samenvatting van de ruimtecondities en brandcondities op het moment van brandweeroptreden.

Rekening houdend met het falen van de offensieve inzet bij scenario b bedraagt de risico-oppervlakte 449 m<sup>2</sup>. Dit is ruimschoots beneden de toelaatbare grenswaarde van 2500 m<sup>2</sup>. Ten aanzien van het maximale branduitbreidingsgebied is een situatie aanwezig die ten minste even veilig is als met de regelgeving (Bouwbesluit 2012) is beoogd.

## 11.6 Risicobenadering voor privaatrechtelijke doelen

In het voorgaande is het risico gespiegeld aan de wettelijke eisen. Daartoe is het risico uitgedrukt in een oppervlakte-eenheid. Dat is uiteraard niet de enig mogelijke vergelijking, het risico kan in allerlei grootheden worden uitgedrukt. Hier zijn dan ook andere (toekomstige) aanpakken denkbaar.

Bovendien is er ook nog een privaatrechtelijke kant, de belangen van de gebouweigenaar of -gebruiker. In de gesprinklerde situatie zal deze in het algemeen overtuigd zijn van de voordelen van een sprinklerinstallatie. De nadelen (kosten) zal hij daartegen moeten afwegen. Een weging op basis van kansen en effecten is in feite niet zo interessant; het gaat er meer om welk risico hij wil of kan dragen. Pas bij grote aantallen (gebouwen) krijgt een risicobenadering meer betekenis. In de niet gesprinklerde situatie is dat niet anders en is het vooral belangrijk dat de gebouweigenaar zich bewust is van het total loss risico.

## 11.7 Toepassing in de praktijk

Om tot maatwerkoplossingen in brandveiligheid te komen met 'projectspecifieke' voorzieningen waarin brandstofkenmerken, gebouwkenmerken, installatietechnisch beveiligingsniveau en organisatorische voorzieningen integraal worden beschouwd is een probabilistische benadering onontbeerlijk. Met een probabilistische aanpak kan getoetst worden aan de impliciete risicodoelen van de publiekrechtelijke regelgeving:

- Instandhouding omgeving
- Instandhouding gebouw en draagstructuur
- Instandhouding compartimentering (beperking branduitbreiding)
- Instandhouding vluchtroute
- Instandhouding aanvalsroute

Die toetsing houdt in dat de optredende risico's in de ontwerpsituatie worden vergeleken met die in een referentiesituatie, die ingericht is met het voorzieningenniveau conform het Bouwbesluit. Zijn de faalrisico's of de toelaatbare faalkansen in de ontwerpsituatie

niet groter dan in de referentiesituatie, dan is een ten minste gelijkwaardig veiligheidsniveau bereikt.

## 11.8 Bronnen

NEN-EN 1990:2002, *Eurocode – Grondslag van het constructief ontwerp(en)*, Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.

NEN-EN 1990/NB:2007, *Nationale bijlage bij NEN-EN 1990:2002*, Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.

NEN-EN 1991-1-2:2002, *Eurocode 1: Belastingen op constructies – Deel 1-2: Algemene belastingen – Belasting bij brand*, Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.

NEN-EN 1991-1-2/NB:2007, *Nationale bijlage bij NEN-EN 1991-1-2:2002*, Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.

Herpen, R.A.P. van, N.J. Voogd (2007), *Fysisch brandmodel – Achtergronden normalisatie fysisch brandmodel*, Zwolle: NEN-werkgroep Fysisch brandmodel (normcommissie brandveiligheid van bouwwerken).

Herpen, R.A.P. van, M. Lasker (2011), *Een nieuwe kijk op beheersbaarheid van brand*, Bouwregels in de praktijk 2011/4, pag.18-21

Quintiere, J.G. (1998), *Principles of fire behavior*, Albany NY (US): Delmar Publishers

## 12 Partners

De totstandkoming van dit lesmateriaal is mogelijk gemaakt door:

Ministerie van Veiligheid en Justitie

Ministerie van Binnenlandse zaken en Koninkrijkrelaties

Rijksgebouwendienst

Nederlands Instituut Fysieke Veiligheid

Nederlandse organisatie voor Brandveiligheid

Rockwool

SBRCURnet

Verbond van Verzekeraars

Vereniging van BrandveiligheidsAdviseurs

Saxion