

Hoge gebouwen: hoge veiligheidsrisico's? Een integrale risicobeschouwing voor hoogbouw

Ruud van Herpen

SBR-praktijkrichtlijn Brandveiligheid in hoge gebouwen wordt door veel instanties als richtlijn gehanteerd bij het toetsen van de brandveiligheid van hoge gebouwen. Vanuit de marktpartijen bestaat juist veel kritiek op de richtlijn, omdat het geëiste voorzieningenniveau aanmerkelijk hoger is dan dat voor standaardsituaties het geval is. Dat was reden voor SBR om de kritiek te onderzoeken en de richtlijn te herzien. Daarbij bestond de wens om dat niet op basis van prescriptieve eisen maar op basis van prestatie-eisen met risicodoelen te doen. Door veiligheid in meetbare risicogrenswaarden uit te drukken, kunnen brandveiligheidsvoorzieningen en gebouwontwerp optimaal op elkaar worden afgestemd (maatwerk).

Inleiding

Het aantal hoge gebouwen in Nederland groeit. Natuurlijk kan daarbij de vraag gesteld worden wat onder hoog wordt verstaan. In het algemeen wordt daarvoor de definitie gehanteerd die het Bouwbesluit geeft in afdeling 2.23: Gebouwen met een verblijfsgebiedvloer hoger dan 70 meter boven meetniveau worden als hoog aangemerkt. Concrete brandveiligheidseisen ontbreken in het Bouwbesluit voor hoge gebouwen.



Figuur 1. Op de grens van hoogbouw: kantoorgebouw La Tour in Apeldoorn

In Nederland komt hoogbouw voor in tientallen steden. Niet alleen in de grote steden binnen de Randstad maar ook in middelgrote steden buiten de Randstad. Lokale overheden hopen met het toepassen van hoogbouw in middelgrote steden het rijksbeleid van 'de compacte stad' te realiseren. Hoogbouw is echter geen wondermiddel voor verdichting en wanneer doelen en concept van de hoogbouw niet helder zijn, worden verwachtingen niet gerealiseerd (Stichting Hoogbouw, 2008).

Bijzondere aandachtspunten in dat verband zijn het wind- en bezonningsklimaat en de infrastructuur in de omgeving van hoogbouw, en de infrastructuur in de hoogbouw zelf.

De infrastructuur in een hoog gebouw is vanzelfsprekend verticaal. De verkeersruimte voor gebouwgebonden installaties en de verkeersruimte voor personen maken onderdeel uit van deze verticale infrastructuur. De verkeersruimte voor personen moet daarbij niet alleen geschikt zijn voor de normale ontsluiting van de gebruiksfuncties in het gebouw, maar ook voor de ontvluchting en voor de inzet van hulpverlening.

Om te voorkomen dat bij heel hoge gebouwen vrijwel geen netto gebruiksoppervlakte overblijft, is het noodzakelijk om voor de infrastructuur in het gebouw van innovatieve concepten uit te gaan. Zo kan het ruimtegebruik van de verticale infrastructuur beperkt worden wanneer in geval van een (brand)calamiteit voor de gebouwontruiming een groter tijdsbeslag wordt toegestaan dan in laagbouw het geval is. Het ruimtegebruik kan ook beperkt worden wanneer in geval van een (brand)calamiteit het gebouw niet volledig ontruimd wordt. Uiteraard zullen in beide gevallen voorzieningen getroffen moeten worden om met een dergelijk ontruimingsconcept een voldoende veiligheidsniveau te bereiken.

In de SBR-praktijkrichtlijn Brandveiligheid in hoge gebouwen (SBR, 2005) wordt bij vier verschillende ontruimingsconcepten (standaardontruiming, ontruiming met groter tijdsbeslag, gefaseerde ontruiming met groter tijdsbeslag, gedeeltelijke ontruiming) het bijbehorende voorzieningenniveau ten aanzien van brandveiligheid voorgeschreven. De voorzieningen zijn voorgeschreven op een prescriptieve wijze, min of meer uit de Bouwbesluiten voor laagbouw geëxtrapoleerd. Door veel toetsende instanties wordt de richtlijn gehanteerd als concrete invulling van afdeling 2.23 van het Bouwbesluit, terwijl vanuit de marktpartijen veel kritiek op de richtlijn bestaat, omdat het geëiste voorzieningenniveau aanmerkelijk hoger is dan dat voor standaardsituaties het geval is. Er wordt zelfs gesproken van 'dubbele veiligheid'.

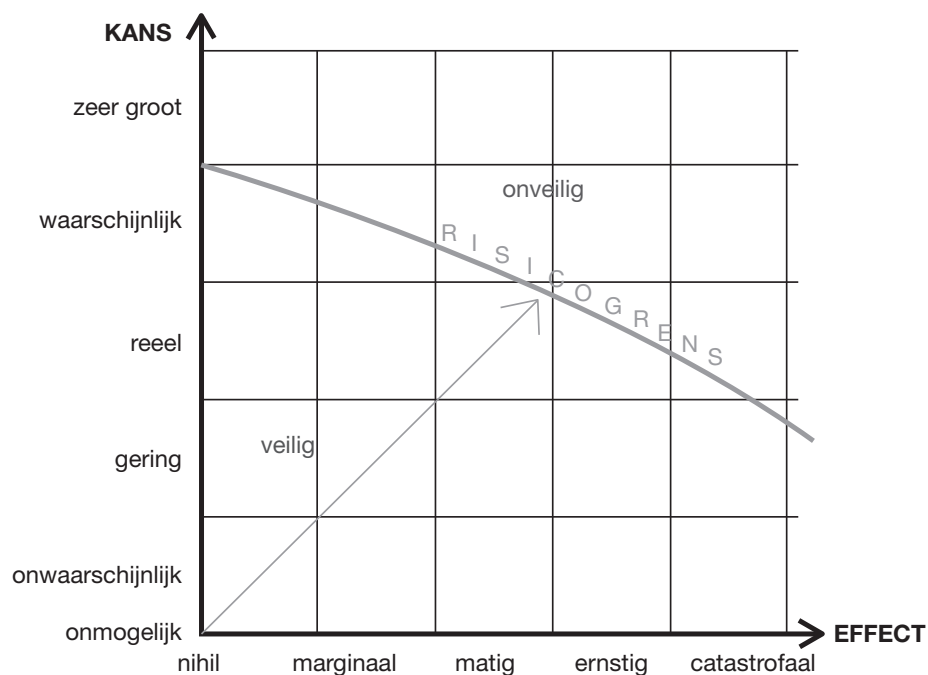
Al met al was dat reden voor SBR om de kritiek te onderzoeken en de richtlijn te herzien. Daarbij bestond de wens om dat niet op basis van prescriptieve eisen maar op basis van prestatie-eisen met risicodoelen te doen. Door veiligheid in meetbare risicogrenswaarden uit te drukken, kunnen brandveiligheidsvoorzieningen en gebouwoontwerp optimaal op elkaar worden afgestemd (maatwerk).

Veiligheidsdoelen in risicogrenswaarden

Risico kan worden gedefinieerd als het product van de kans op het optreden van een incident en het effect dat hiervan het gevolg is. Door dat voor alle scenario's waarin dat incident optreedt te doen, kan het totale risico bepaald worden en getoetst worden aan een grenswaarde (toelaatbaar risico):

$$\Sigma (kans \times effect) \leq \text{toelaatbaar risico}$$

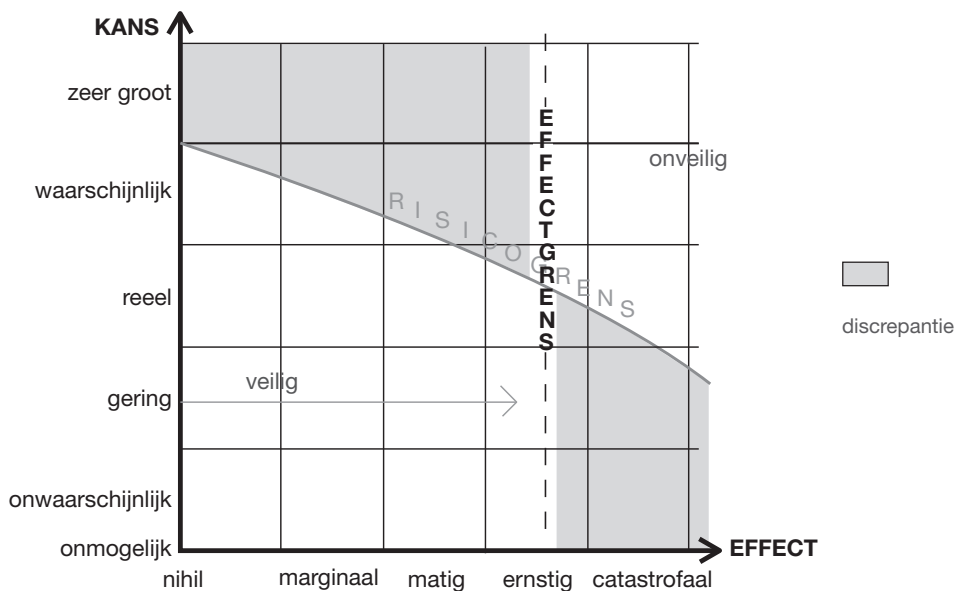
In de onderstaande risicomatrix is de grenswaarde van het toelaatbaar risico weergegeven. Dit hoeft niet per se een lineaire relatie te zijn.



Figuur 2. Risicomatrix, kans en effect op verschillende assen uitgezet. De risicogrens hoeft niet per se als een lineaire relatie tussen kans en effect te worden gedefinieerd

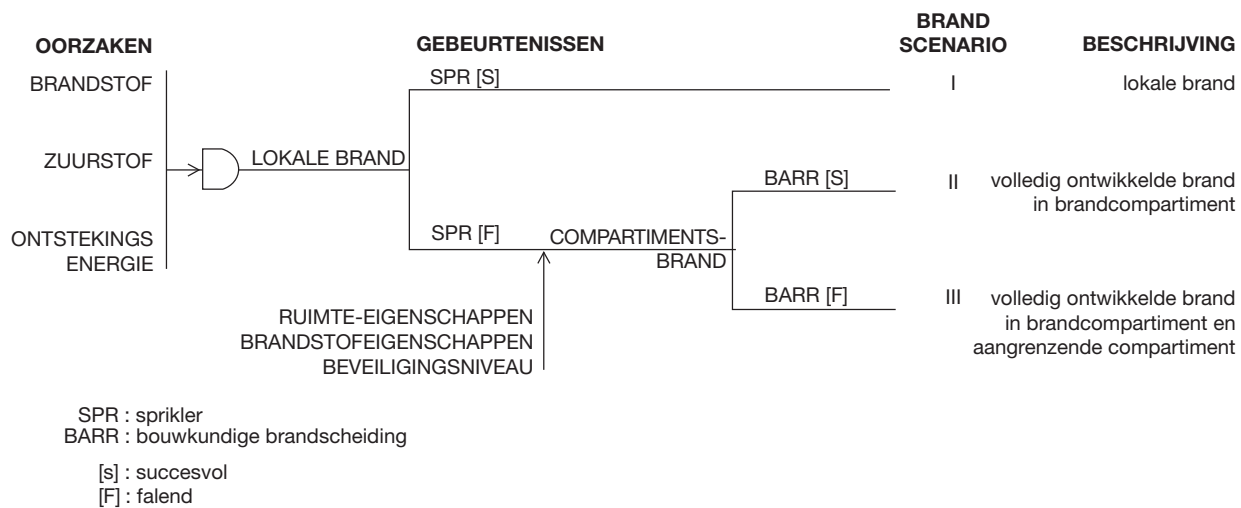
Het veiligheidsniveau van de publiekrechtelijke regelgeving (Bouwbesluit) is niet in een risicogrenswaarde te vertalen. De regelgeving beperkt zich voornamelijk tot effectbeheersing in een deterministische benadering. In de eisen van het Bouwbesluit ten aanzien van brandbeheersing, rookbeheersing, constructieve veiligheid en vluchtveiligheid speelt de kans op het ontstaan van een brand en het ontwikkelen hiervan tot een compartmentsbrand geen rol.

De veiligheidsgrenswaarde van de publiekrechtelijke regelgeving is dus een effectgrenswaarde. Overigens moet daarbij worden opgemerkt dat deze effectgrenswaarde vrij diffuus is. Het toelaatbare effect is niet in alle situaties gelijk.



Figuur 3. Risicomatrix, nu met een effectgrenswaarde daarin weergegeven (veiligheidsniveau publiekrechtelijke regelgeving). Hierdoor kunnen grote verschillen ontstaan met het veiligheidsniveau dat is gedefinieerd in een risicogrenswaarde

Het kenmerk van een risicobenadering is een risicoanalyse van min of meer waarschijnlijke scenario's. Deze scenario's bestaan uit een aaneenschakeling van oorzaken en gebeurtenissen. Figuur 4 geeft een eenvoudig voorbeeld voor het optreden van brand in een gesprinklerd compartiment en de eventuele ontwikkeling tot een compartimentsbrand of erger. Elke oorzaak en elke gebeurtenis heeft een eigen kans van optreden, zodat ook voor de drie scenario's de optredende kansen toegekend kunnen worden. Wanneer daarnaast het effect van elk scenario bekend is, kan het totale risico worden berekend. Dit risico moet getoetst worden aan de risicogrenswaarde.



Figuur 4. Eenvoudig voorbeeld van mogelijke incidenten bij een brandbeheersingssysteem bestaande uit sprinklers (SPR) en bouwkundige scheidingen (BARR) (bewerkt naar IFEG, 2005)

In tegenstelling tot een deterministische benadering, die zich beperkt tot effectbeheersing, maakt een probabilistische benadering een eenduidige toetsing van het veiligheidsniveau mogelijk. 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, waarin risicodoelen worden vastgelegd in bijvoorbeeld (letale) slachtoffers (veiligheidsgrenswaarde) of kosten (schadegrenswaarde). Veiligheidsrisico's zouden zo in plaatsgebonden risico's of groepsrisico's kunnen worden gedefinieerd. Onderscheid naar gebouwgebruikers of gebouwbewoners, hulpverleners en gebruikers of bewoners in de omgeving is daarbij mogelijk.

De wetgever zou dergelijke risicodoelen moeten formuleren. Op het gebied van brandveiligheid is dat nieuw en het is ook niet te verwachten dat dergelijke risicodoelen binnen afzienbare tijd worden vastgesteld.

In Fire Safety Engineering wordt daarom vaak gebruikgemaakt van risicosubsystemen met eigen risicodoelen. Wanneer de risicosubsystemen zodanig gekozen worden dat er een verband is met groepen van eisen uit de publiekrechtelijke regelgeving (paragrafen uit het Bouwbesluit), kunnen ook risicodoelen per subsysteem worden geformuleerd. Tabel 1 geeft hiervan een voorbeeld.

Tabel 1. Risicosubsystemen

Risicosubstelsysteem	Formulering risicodoel
Draagstructuur (hoofddraagconstructie)	Toelaatbare kans op bezwijken onder brandcondities.
Compartimentering	Toelaatbare kans op bezwijken onder brandcondities, onderscheid in mechanisch bezwijken en thermisch bezwijken.
Vluchtroutes (brand en rookvrij)	Toelaatbare kans op onbruikbaar worden onder brandcondities gedurende de vluchttijd.
Aanvalsroutes	Toelaatbare kans op onbruikbaar worden onder brandcondities gedurende de inzet van hulpverleners.

Het vaststellen van de toelaatbare kans is in principe mogelijk door van situaties die voldoen aan de publiekrechtelijke regelgeving aan een risicobenadering te onderwerpen.

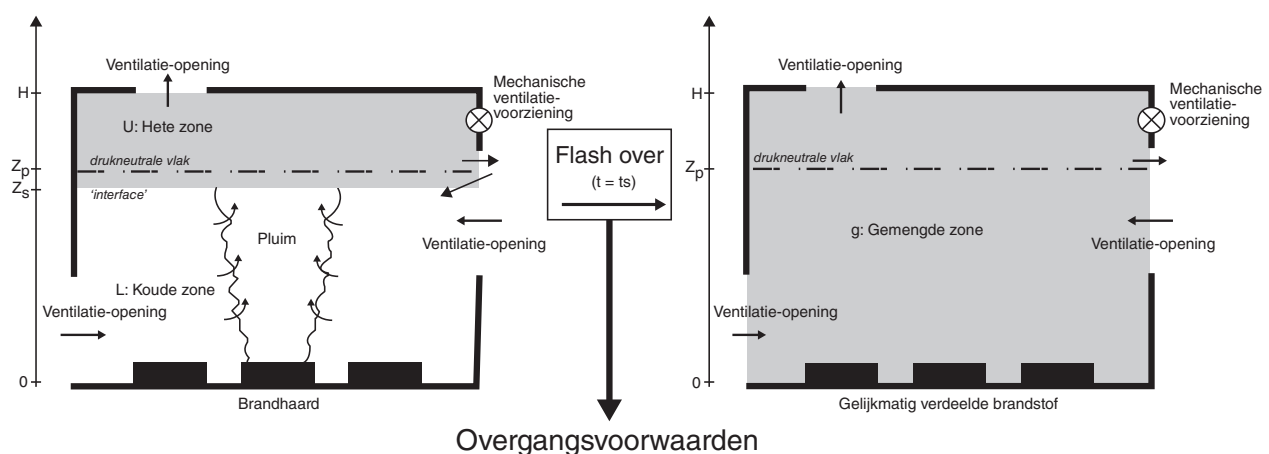
Het fysisch brandmodel als basis

Wanneer veiligheid in termen van toelaatbaar risico wordt vastgelegd, kan niet worden uitgegaan van standaard brandkrommen voor de temperatuurontwikkeling in een brandruimte. De risicobenadering maakt immers onderdeel uit van een projectspecifieke beschouwing. Er moet dus ook projectspecifiek gerekend worden ten aanzien van brandontwikkeling en uitbreiding.

Het fysisch brandmodel, op basis van een natuurlijk brandconcept, zoals dat in de ontwerp-NEN 6055 is beschreven, maakt dat mogelijk. Daarin spelen de volgende grootheden een rol:

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

Bij een lokale brand zal in het algemeen een tweezonemodel optreden, een gestratificeerde situatie van een hete zone boven een koude zone. De verbrandingsgassen stromen vanaf de brandhaard via een pluim in de hete zone. Door opmenging of flash-over gaat dit na verloop van tijd over in een gemengde zone.



Figuur 5. Zowel een tweezonemodel (links) als een gemengdezonemodel (rechts) maken onderdeel uit van het fysisch brandmodel (verticale doorsnede van de brandruimte)

Na flash-over is sprake van een compartimentsbrand; alle brandstof in de brandruimte staat dan in brand. In die situatie is het brandvermogen stationair en vrijwel altijd zuurstofbeheerst. 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, omdat buiten de brandruimte voldoende zuurstof aanwezig is en de uitstromende gassen voldoende energie voor ontsteking bevatten. Dit levert uitslaande vlammen op.

Wanneer de brandstof opraakt, treedt de dooffase in. Het brandvermogen neemt dan af tot nul. Dit bepaalt de totale brandduur en daarmee de totale thermische belasting op mens en constructie in de brandruimte. De brandruimte is, nadat de brand is gedoofd, nog niet meteen afgekoeld tot de beginsituatie (omgevingstemperatuur). Daarvoor is, afhankelijk van de bouwkundige eigenschappen van de brandruimte, nog een aanzienlijke afkoelingstijd nodig.

De respons van constructies

Wanneer met het fysisch brandmodel de bron is gedefinieerd, moet vervolgens de thermische en mechanische respons van constructies, onderverdeeld naar de verschillende risicosubsystemen,

worden bepaald. Daarmee kan worden gecontroleerd of falen van de constructie met voldoende zekerheid kan worden voorkomen.

Het thermisch falen van een constructie wordt bepaald door toetsing van de thermische respons aan de criteria voor de oppervlaktetemperatuur (I) en de warmtestrallingsflux (W) aan de niet-verhitte zijde, conform NEN 6069. Deze criteria zijn van toepassing voor brandscheidingen ter plaatse van de compartimentering, vluchtroutes en aanvalsroutes. Controle aan deze criteria is in theorie mogelijk met behulp van een thermodynamisch simulatiemodel. Van de meeste materialen is het thermisch gedrag echter niet goed te modelleren. Daarom wordt de thermische belasting volgens het fysisch brandmodel vaak vertaald in een equivalente brandduur volgens de standaard brandkromme. Zo is in elk geval een vergelijkingsmaat aanwezig voor geteste constructies.

Het mechanisch falen van een constructie wordt bepaald door toetsing van de mechanische respons van de criteria voor de integriteit (E) en de instandhouding onder de gegeven mechanische belasting (R) conform NEN 6069. Het E-criterium is van toepassing voor brandscheidingen en het R-criterium voor de draagstructuur en stabiliteit ervan. De mechanische respons wordt bepaald door de thermische respons van de betreffende constructie en de mechanische belasting ervan. Ook hiervoor kan de thermische belasting volgens het fysisch brandmodel worden vertaald in een equivalente brandduur volgens de standaard brandkromme.

Het natuurlijk brandconcept dat als basis voor de thermische belasting is gebruikt, gaat uit van een brandverloop waarin niet wordt ingegrepen. Met brandbeveiligingsinstallaties en organisatie van de hulpverlening kan echter worden ingegrepen op dit natuurlijk brandconcept. Feitelijk zijn daardoor een groot aantal scenario's denkbaar, elk met hun eigen waarschijnlijkheid. In plaats van alle denkbare scenario's te beschouwen, wordt een risicofactor (vermenigvuldigingsfactor) op het brandvermogen toegepast. Deze methodiek is beschreven in Eurocode 0 (NEN-EN 1990+NB) en voor de draagstructuur toegepast in Eurocode 1 (NEN-EN 1991-1-2+NB).

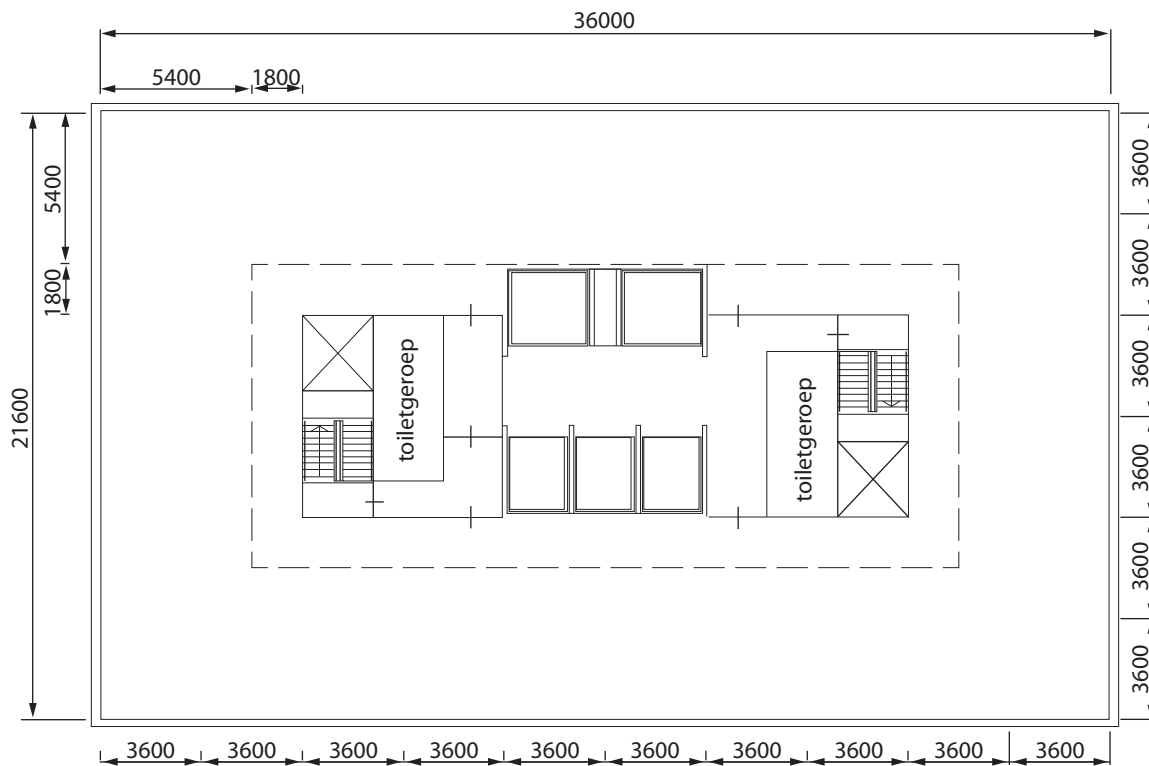
De methodiek kan ook voor de andere risicosubsystemen worden toegepast, al zullen de risicofactoren daarvoor verschillen van de risicofactoren die in Eurocode 1 zijn vastgelegd. In het achtergronddocument voor de herziening van de SBR-praktijkrichtlijn Brandveiligheid in hoge gebouwen is hiervoor een aanzet gegeven in hoogbouwsituaties (Van Herpen, 2010).

Met name de kans op het ontstaan van brand en de kans dat deze vervolgens uitgroeit tot een compartimentsbrand is in de risicofactor opgenomen. Die wordt bepaald door:

- de gebruiksfunctie van de brandruimte;
- de grootte van de brandruimte (gebruiksoppervlakte);
- het niveau van de brandbeveiligingsvoorzieningen die invloed op de brandvermogensontwikkeling kunnen hebben:
 - brandweer (overheidsbrandweer, bedrijfsbrandweer);
 - automatische detectie (thermisch, optisch);
 - automatische doormelding (naar alarmcentrale van de overheidsbrandweer);
 - automatische blussing (sprinkler).

Casus: hoogbouw met kantoorfunctie

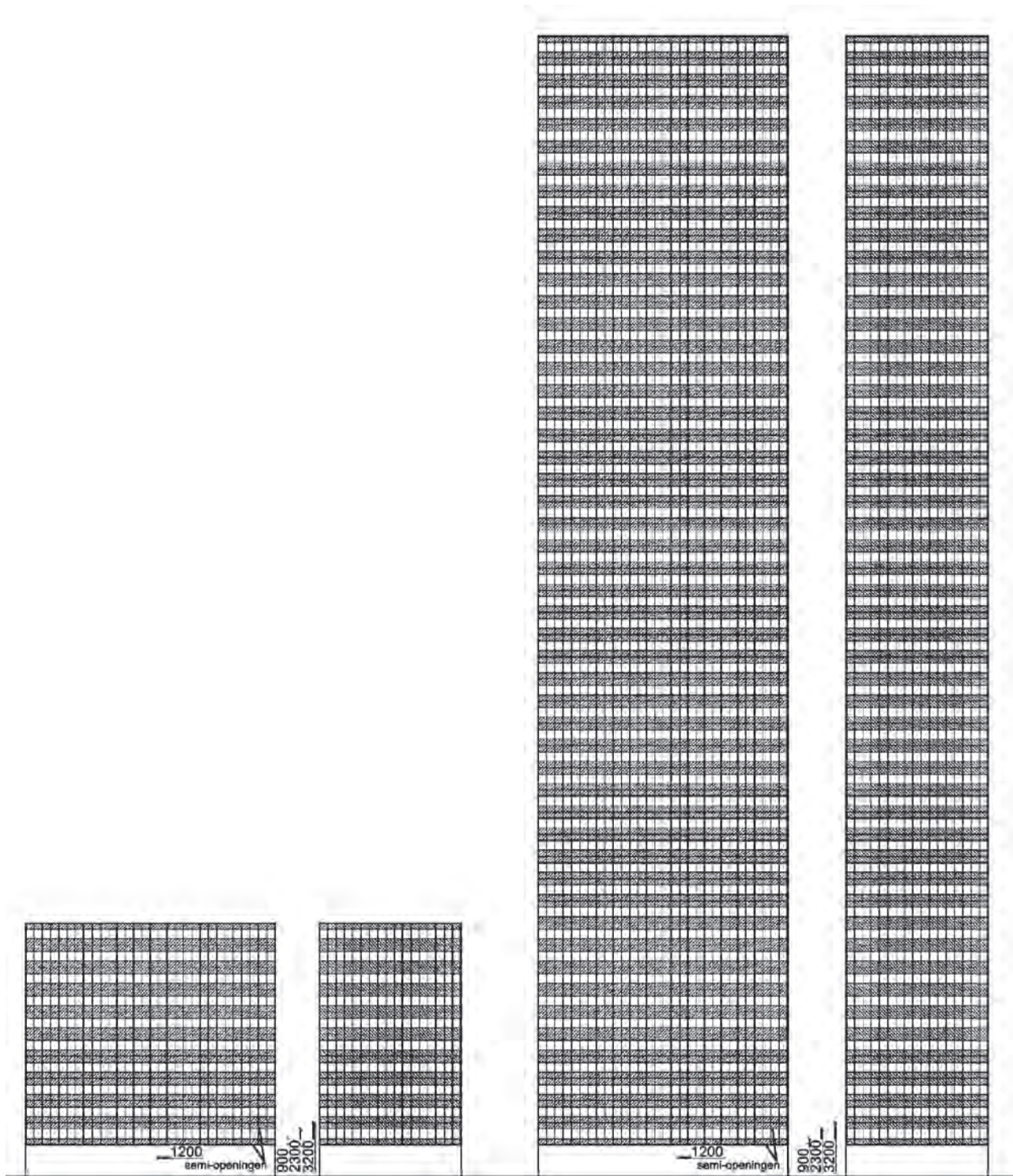
Het fysisch brandmodel is met de risicobenadering zoals hiervoor beschreven toegepast op een aantal hoogbouwcasussen. Ter illustratie wordt hier een hoogbouw van 50 verdiepingen met een kantoorfunctie uitgelicht. De lay-out hiervan is weergegeven in figuur 6.



Figuur 6. Lay-out van de kantoorfunctie (verdieping). Elke verdieping is een brandcompartiment. De kern ligt als brand- en rookvrije vluchtroute buiten het brandcompartiment

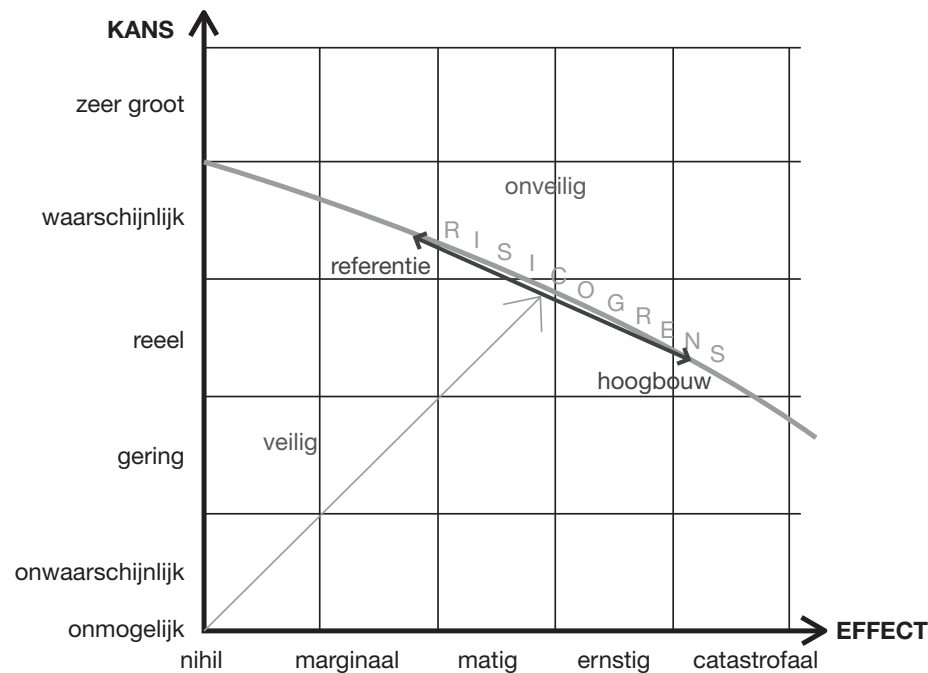
De permanente vuurbelasting is in deze casus laag verondersteld (250 MJ/m^2). Voor de variabele vuurbelasting, de referentie vermogensdichtheid en de tijdconstante voor branduitbreiding zijn de karakteristieke waarden uit NEN-EN 1991-1-2/NB aangehouden.

Als referentiecasijs is een gebouw met dezelfde gebruiksfunctie en lay-out aangehouden als in de hoogbouwcasus, maar dan met een hoogte van 10 verdiepingen in plaats van 50 verdiepingen, zie figuur 7.



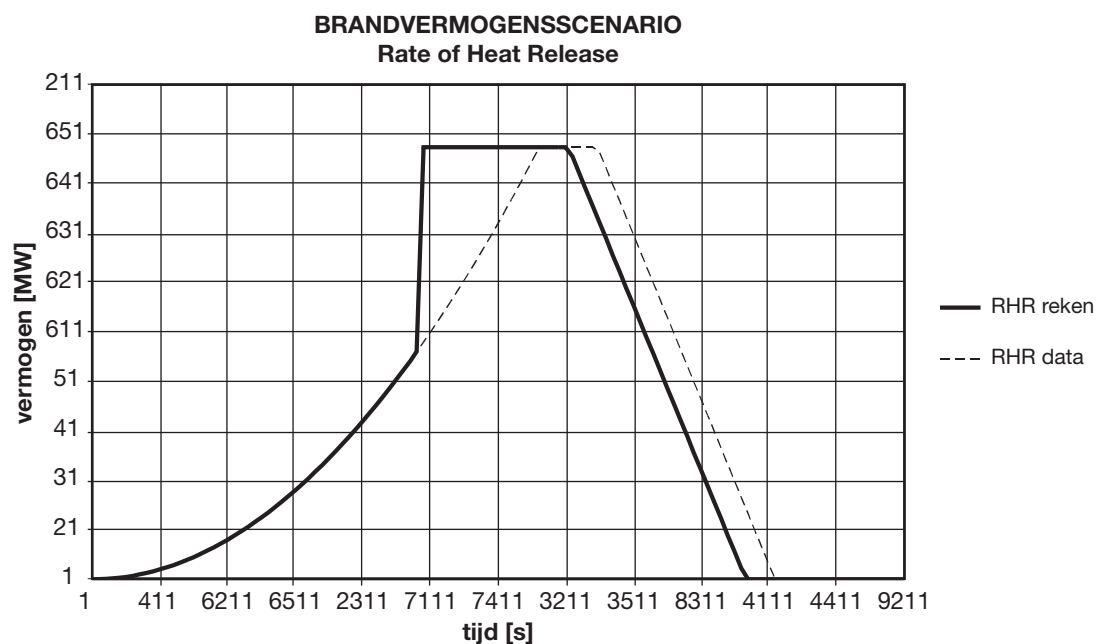
Figuur 7. Gevelaanzichten van de referentiecassus (10 verdiepingen) en de hoogbouwcasus (50 verdiepingen)

De vergelijking met de referentiecasijs is nodig om het voorzieningenniveau dat volgens de publiekrechtelijke regelgeving hier noodzakelijk is te kunnen extrapoleren naar de hoogbouwcasus, met gelijk risicoprofiel voor alle risicosubsystemen. Dat zal resulteren in een hoger niveau van brandveiligheidsvoorzieningen.



Figuur 8. Risicomatrix, met daarin aangegeven het principe van extrapolatie van de referentiecasijs naar de hoogbouwcasus

Het brandvermogensscenario volgens het natuurlijk brandconcept, dat de basis vormt voor de risicobenadering, is weergegeven in figuur 9. Hierin blijkt duidelijk het onderscheid tussen de lokale brand in de ontwikkelfase en de compartimentsbrand na flash-over. Flash-over voor het totale brandcompartiment (kantoorverdieping) treedt op na ongeveer 48 minuten, gerekend vanaf het ontstaan van de brand.



Figuur 9. Het brandvermogensscenario volgens het natuurlijk brandconcept voor een kantoorverdieping (zowel voor de referentiecasis als de hoogbouwcasus)

Voor de hoogbouwcasus wordt uitgegaan van hetzelfde installatietechnische beveiligingsniveau als voor de referentiecasis, met als toevoeging een sprinklerinstallatie. Omdat het niet mogelijk is om de hoogbouwcasus voldoende snel te ontruimen, wordt van een langere ontruimingstijd uitgegaan (tot maximaal 30 minuten langer: ontruimingsconcept B volgens SBR, 2005).

De vermenigvuldigingsfactoren op het ontstaan van een brand en de uitgroei tot een volledig ontwikkelde compartimentsbrand zijn zo veel mogelijk ontleend aan NEN-EN 1991-1-2+NB en weergegeven in tabel 2. Als gevolgklasse wordt, conform NEN-EN 1990+NB voor gebouwen standaard uitgegaan van CC2. Daar waar het risicosubstelsysteem het totale gebouw omvat, is voor de hoogbouwcasus uitgegaan van gevolgklasse CC3. Daarnaast is in de hoogbouwcasus de effectiviteit van het brandweeroptreden aanzienlijk lager dan in de referentiecasis. De reden daarvoor is dat vluchtroutes in de hoogbouwcasus minder snel als aanvalsroutes gebruikt kunnen worden. Ook de doormelding heeft daarom in de hoogbouwsituatie geen effect op het brandscenario (Van Herpen, 2010).

De bijbehorende risicofactoren die op het brandvermogensscenario moeten worden toegepast voor de verschillende risicosubsystemen, zijn in tabel 3 weergegeven.

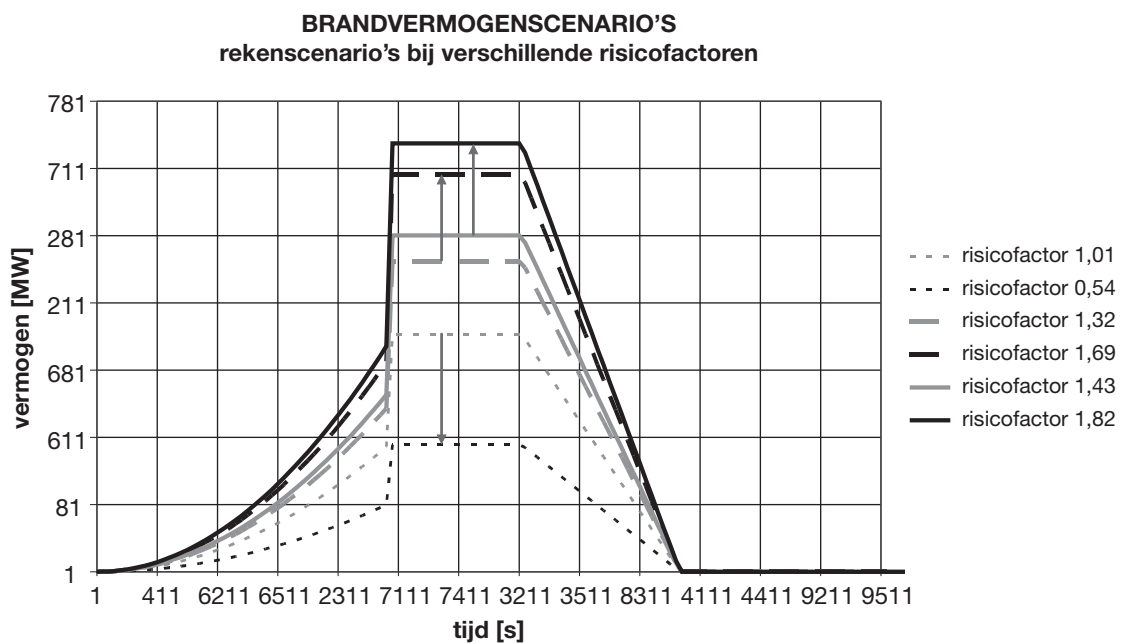
Tabel 2. Kansvermenigvuldigingsfactoren voor de verschillende veiligheidsdoelen

Doel	Situatie	Vermenigvuldigingsfactor kans op compartimentsbrand							TOTAAL
		gevolg-klasse	oppervlakte	active-ring	brand-weer	autom. detectie	doormel-ding	sprinkler	
1 (HDC)	Referentie	CC2: 1	264	1	0,1	–	0,25	–	6,6
	Hoogbouw	CC3: 10	1224	1	0,5	–	–	0,01	61,2
2 (comp)	Referentie	CC2: 1	24	1	0,1	–	0,25	–	0,6
	Hoogbouw	CC2: 1	24	1	0,5	–	–	0,01	0,12
3 (routes)	Referentie	CC2: 1	264 / 2	1	0,1	–	0,25	–	3,3
	Hoogbouw	CC3: 10	1224 / 2	1	0,5	–	–	0,01	30,6

Tabel 3. Risicofactoren voor verschillende veiligheidsdoelen (conform NEN-EN 1991-1-2/NB)

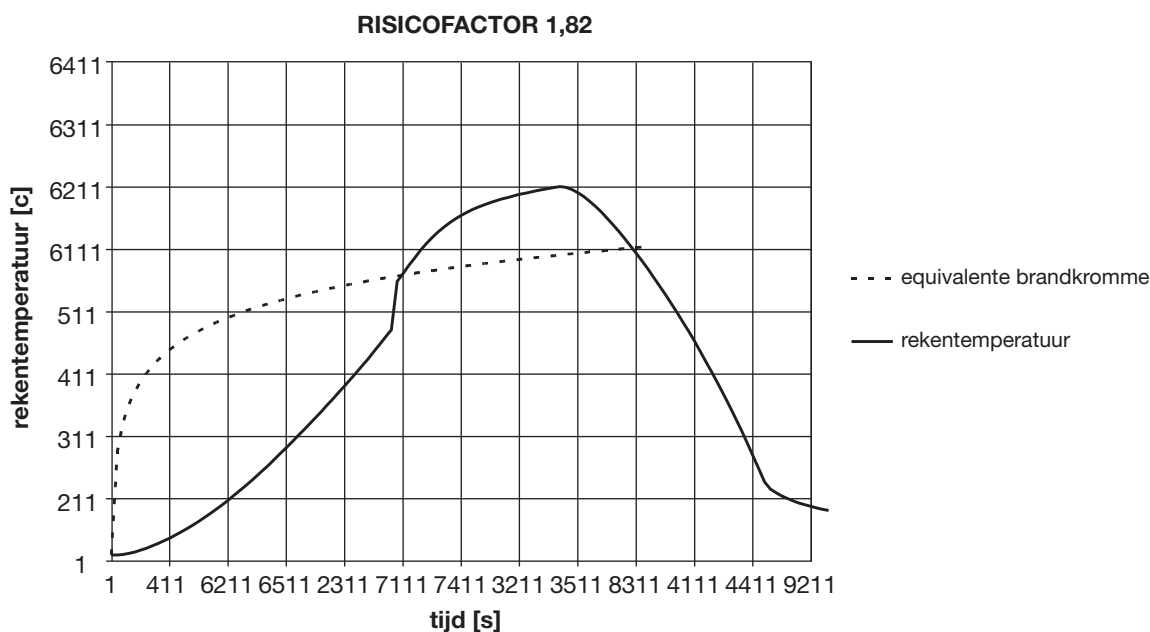
	Situatie	Vermenigvuldigingsfactor kans	Risicofactor brandvermogen
1 (HDC)	Referentie	6,6	1,43
	Hoogbouw	61,2	1,82
2 (comp)	Referentie	0,6	1,01
	Hoogbouw	0,12	0,54
3 (routes)	Referentie	3,3	1,32
	Hoogbouw	30,6	1,69

De brandvermogensscenario's die met de verschillende risicofactoren van tabel 3 worden verkregen, zijn weergegeven in figuur 10.



Figuur 10. Brandvermogensscenario's na toepassing voor de risicofactoren voor de verschillende risicosubsystemen (referentiecasis: grijze lijnen; hoogbouwcasus: zwarte lijnen).

De brandscenario's van figuur 10 worden vervolgens als randvoorwaarden opgelegd in het fysisch brandmodel. Hieruit volgen de gastemperaturen in de brandruimte. De gastemperaturen in de brandruimte vormen de thermische belasting voor de draagconstructie, brandcompartimentering en de vlucht- en aanvalsroutes. Figuur 11 geeft als voorbeeld de thermische belasting op de hoofd-draagconstructie in de brandruimte voor de hoogbouwcasus (risicofactor 1, 82).



Figuur 11. Thermische belasting op de hoofd-draagconstructie van de hoogbouwcasus (risicofactor op het brandvermogen: 1, 82)

De resultaten kunnen worden vertaald naar een equivalente brandduur. De equivalente brandduur is daarbij gedefinieerd als de brandduur volgens de standaard brandkromme met dezelfde gecumuleerde energie-inhoud als de rekentemperatuur voor het totale brandscenario. De equivalente brandduren voor de verschillende risicosubsystemen zijn voor zowel de referentiecasis als de hoogbouwcasus samengevat in tabel 4.

Tabel 4. Resultaat in equivalente brandduur volgens de standaard brandkromme				
Doel	Situatie	Equivalente brandduur [min.]	Eis conform Bouwbesluit [min.]	
1 (hoofd-draagconstructie)	Referentie	75	60 (R)	
	Hoogbouw	91		
2 (compartimentering)	Referentie	65	60 (EIW)	
	Hoogbouw	50		
3 (vlucht- en aanvalsroutes)	Referentie	71	60 (EIW)	
	Hoogbouw	86		

Conclusie

De rekenresultaten van de casusstudie geven aan dat, ondanks de aanwezigheid van een sprinklerinstallatie in de hoogbouwcasus ten opzichte van de referentiecassus, er hogere eisen noodzakelijk zijn aan de brandwerendheid van de hoofdconstructie en de bescherming van vlucht- en aanvalsroutes. Alleen de eis aan de brandcompartimentering (en dus ook het brandoverslagrisico via de gevel) valt dankzij de sprinklerinstallatie in de hoogbouwcasus lager uit.

Het zal duidelijk zijn dat door de toepassing van het fysisch brandmodel en de risicobenadering een maatwerkoplossing gecreëerd is. Het veiligheidsniveau is optimaal afgestemd op het gebouw, het gebruik en de installatietechnische beveiliging. Bij andere hoogbouwcasussen kan dus een ander voorzieningenniveau noodzakelijk zijn. Dit hangt af van het aantal verdiepingen, de lay-out van de plattegrond, de gevelinvulling, de installatietechnische beveiliging, de gebruiksfunctie, en dergelijke.

Opvallend is dat de resultaten van de referentiecassus leiden tot iets zwaardere eisen dan het Bouwbesluit voorschrijft. Het risicoprofiel is dus niet gelijk. Overigens moet daarbij worden opgemerkt dat de referentiecassus al wel 10 verdiepingen telt en dat het risicoprofiel van het Bouwbesluit een zeer grote bandbreedte kent.

Het doel is om voor hoogbouw de hier gepresenteerde aanpak van fysisch brandmodel met risicobenadering in een nieuwe SBR-praktijkrichtlijn Brandveiligheid in hoge gebouwen te publiceren. Uiteraard dringt de vraag zich op of het mogelijk is om maatwerkoplossingen in een richtlijn onder te brengen. Voor wat betreft de methodiek is dat zeker mogelijk. Voor wat betreft de maatregelpakketten valt dat nog te bezien.

Literatuur

- R.A.P. van Herpen, *Herziening praktijkrichtlijn brandveiligheid in hoge gebouwen – casusstudie kantoorfunctie Wz080302aaA1*, Zwolle: Adviesburo Nieman BV 2010.
- R.A.P. van Herpen en M.S. Drost-Hofman, *Herziening praktijkrichtlijn brandveiligheid in hoge gebouwen – achtergronddocument Wz080302aaA0*, Zwolle: Adviesburo Nieman BV 2010.
- IFEG, *International Fire Engineering Guidelines*, International Code Council ICC, USA 2005.
- J.H. van der Veeck en K.M. Horsley, *Brandveiligheid in hoge gebouwen – praktijkrichtlijn*, Rotterdam: Stichting BouwResearch 2005.
- D. Zandbelt en R. van den Berg, *Hoogbouw – een studie naar Nederlandse hoogbouw-cultuur*, Rotterdam: Stichting Hoogbouw 2008.