

Nieuwe handreiking hoogbouw en risicobenadering

Dit artikel is een samenvatting van de masterthesis van de auteur aan de Technische Universiteit Eindhoven. De masterthesis past in de onderzoekslijn 'Duurzame brandveiligheid door bouwtechnische, installatietechnische en organisatorische voorzieningen' van het fellowship Fire Safety Engineering, onder verantwoordelijkheid van Ruud van Herpen (zie ook: www.fellowfse.nl). Het fellowship Fire Safety Engineering valt onder de leerstoel Installaties (prof. Wim Zeiler) van de unit Building Physics and Services (BPS) van de faculteit Bouwkunde.

Ir. R. (Rob) Kisjes, Deerns Nederland BV; supervisors: ir. R. (Ruud) van Herpen FIFireE en prof.ir. W. (Wim) Zeiler, Technische Universiteit Eindhoven

Voor gebouwen hoger dan 70 m stelt het Bouwbesluit 2012 dat deze een 'zelfde mate van brandveiligheid' moeten bezitten als gebouwen tot 70 m hoogte. In 2005 verscheen hiertoe als hulpmiddel de Praktijkrichtlijn Brandveiligheid in hoge gebouwen [1] van de SBR. Najaar 2014 is hiervan een update verschenen onder de naam Handreiking Brandveiligheid in hoge gebouwen [2]. Het generieke karakter van de handreiking leidde tot een 'rule based' opzet maar biedt de opening voor een meer 'performance based' aanpak, dus doelgericht op basis van een risico-afweging. In dit artikel wordt voor een hoogbouwkantoor een uitwerking gegeven op basis van een risico-afweging.

OPZET BOUWBESLUIT

De publiekrechtelijke bouwregelgeving stelt in het Bouwbesluit 2012 eisen aan onder andere de brandveiligheid van zowel nieuw te bouwen als bestaande bouwwerken. Volgens de toelichting bij Bouwbesluit 2012 worden voor brandveiligheid twee overheidsdoelen (OHD) gesteld:

- OHD1 – Het beperken van slachtoffers (doden

- en gewonden) in geval van brand;
- OHD2 – Het voorkomen van branduitbreiding naar een ander perceel.

In het Bouwbesluit zijn de genoemde overheidsdoelen uitgewerkt in vijf brandveiligheidsdoelen (BVD):

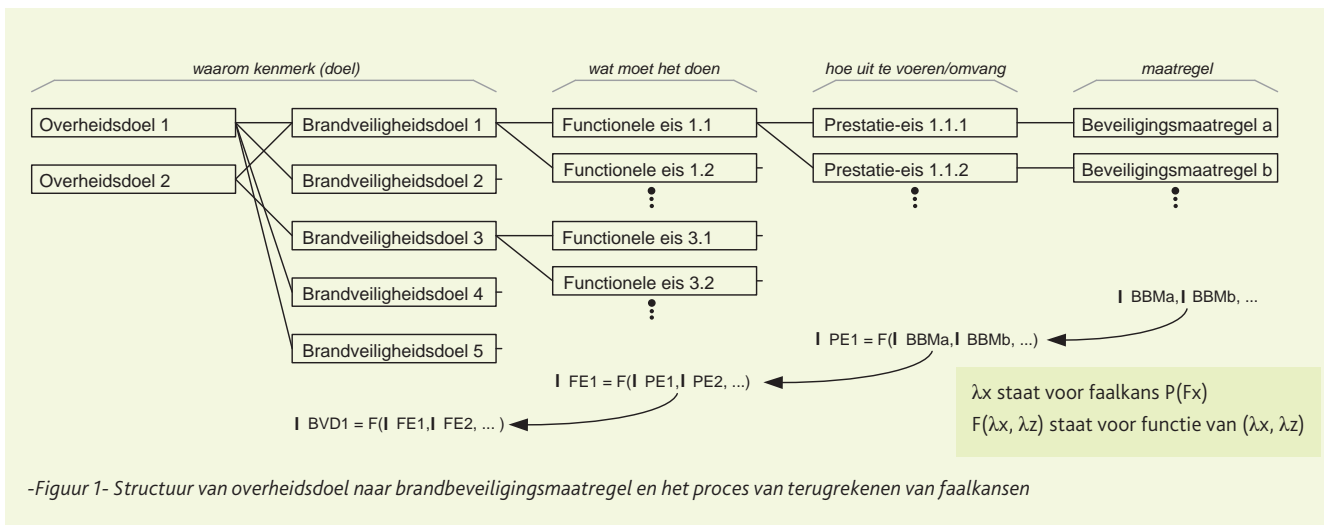
- BVD1 – Het draagvermogen van de constructie moet gedurende een bepaalde tijd behouden blijven;
- BVD2 – Het ontstaan en de verspreiding van vuur en rook binnen het bouwwerk zelf moet beperkt blijven (brandcompartimentering);
- BVD3 – De uitbreiding van de brand naar belendende bouwwerken moet beperkt blijven (brandoverslag);
- BVD4 – De gebouwgebruikers moeten het bouwwerk kunnen verlaten of anderszins in veiligheid kunnen worden gebracht. Dit brandveiligheidsdoel wordt verder opgesplitst in het eerste deel; veilig vluchten uit het bedreigde subbrandcompartiment (BVD 4a) en het tweede deel veilig vluchten uit het gehele gebouw (BVD 4b);
- BVD5 – De veiligheid van hulpverleners (zoals de brandweer) moet in acht worden

genomen.

Om die veiligheid te realiseren zijn in het Bouwbesluit 2012 voorschriften opgenomen waarmee in geval van brand in een compartiment van het gebouw, voldoende veiligheid van gebouwgebruikers en hulpverleners (zoals de brandweer) is geborgd en het overslagrisico naar buurpercelen gering is. Hiermee is het impliciete faalrisico van brandveiligheid voor een specifieke gebruiksfunctie vastgelegd. Indien nu de faalkansen van de brandbeveiligingsmaatregelen bekend zijn, kan als het ware worden terugerekend naar de faalkansen van de bovenliggende brandveiligheidsdoelen. Dit proces van reverse engineering is in figuur 1 weergegeven.

Faalkansen van veel brandbeveiligingsmaatregelen zijn bekend via faalkans-databanken (vooral van de brandbeveiligingsinstallaties). Van andere maatregelen kunnen de onzekerheden in randcondities en uitgangspunten worden bepaald via een probabilistische berekening.

De brandveiligheidsdoelen gelden voor zowel laagbouw als hoogbouw. Indien deze doelen



kunnen worden gekwantificeerd dan vormen zij de basis voor het noodzakelijke voorzieningenniveau in hoogbouw, waarmee een 'zelfde mate van brandveiligheid' wordt bereikt als in laagbouw.

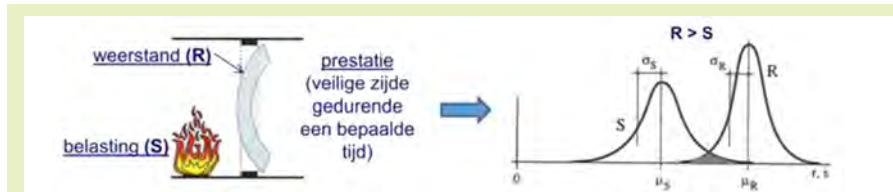
Het is dus nodig om doelen vast te leggen in een prestatie met een toelaatbare faalkans. In het Bouwbesluit zijn de brandveiligheidsdoelen impliciet vastgelegd in concrete voorschriften (bijvoorbeeld een brandcompartiment van maximaal 1.000 m² met een Wdbdo van 60 minuten). Toelaatbare faalkansen zijn in de voorschriften niet gegeven.

Falen is afhankelijk van belasting (S) en weerstand (R). In zowel de belasting als de weerstand komt variatie voor; feitelijk zijn beide grootheden stochasten waarvoor een standaard afwijking kan worden gedefinieerd. Dit is weergegeven in figuur 2. De brand heeft een bepaalde intensiteit en brandduur afhankelijk van brandstof- en gebouwkenmerken. De brandweerstand wordt bepaald door constructie- en materiaalkenmerken. De gemeenschappelijke oppervlakte van de beide kansverdelingen representeert de faalkans. De faalkans wordt uitgedrukt in $P(F_{\text{prestatie,A}}|B)$; het falen van de prestatie A gegeven de conditie B (bijvoorbeeld brand).

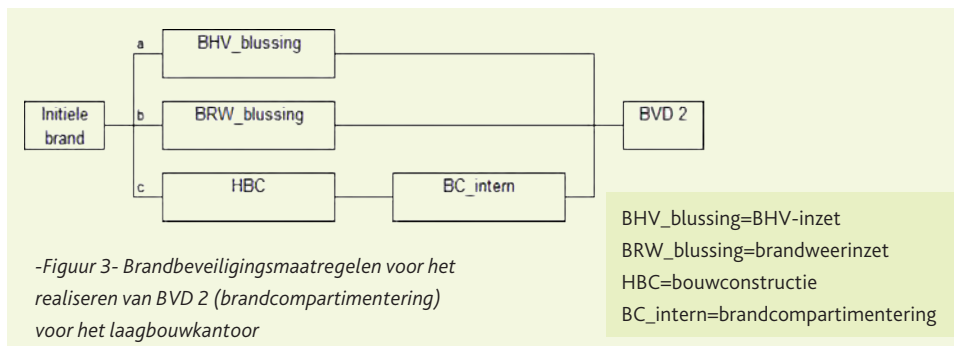
Veiligheid is de complementaire factor van onveiligheid. Onveiligheid is uit te drukken in het product van risico = kans x impact. De risicovergelijking kan ook als volgt in formulevorm worden weergegeven:

Risico = kans (ontstaan brand + falen maatregelen) x impact

Voor een hoogbouwkantoor zijn er twee duidelijke verschillen ten opzichte van een laagbouwkantoor. Ten eerste bevinden er zich meer mensen in de hoogbouw, dus bij falen is de impact groter. Ten tweede is de kans op brand groter (grotere vloeroppervlakte, dus grote ontstaanskans). Door in de risicoformule het risico in hoogbouw gelijk te houden aan laagbouw (voor de 'zelfde mate van brandveiligheid'), de impact en ontstaanskans als



-Figuur 2- De belasting (brand) en weerstand (brandwerende scheiding) met een visualisering van de faalkans



toenemend gegeven te beschouwen, kan worden geconcludeerd dat de faalkans van maatregelen moet afnemen. De Eurocodes [4] zijn met indeling in consequence classes, CC1 t/m CC3 ook gestoeld op deze methode. Het Bouwbesluit 2012 stuurt de Eurocodes voor de draagconstructies aan en de methode kan ook voor de andere brandveiligheidsdoelen op een gelijke wijze worden toegepast. In de Eurocodes komt het erop neer dat voor een hoogbouwkantoor de faalkans van de brandveiligheidsdoelen een factor 8,5 lager moet zijn dan voor een referentie laagbouwkantoor. Deze factor wordt afgerond op 10.

■ KWANTIFICERING LAAGBOUWKANTOOR

Om de brandveiligheidsdoelen uit het Bouwbesluit vast te stellen is een kantoorgebouw genomen van 10 verdiepingen met verdiepingsoppervlakten van 1.000 m². Deze configuratie leidt tot een groot aantal prestatie-eisen en uiteindelijk tot een set van 17 concrete brandbeveiligingsmaatregelen, zoals de bouwconstructie, vluchtrouteopzet, (sub-) brandcompartimentering en diverse brandbeveiligingsinstallaties.

Voor het afleiden van de faalkans van de brandveiligheidsdoelen zijn betrouwbaarheidsblokdigrammen toegepast [5]. Als voorbeeld is brandveiligheidsdoel BVD 2 in figuur 3 weergegeven met de van toepassing zijnde brandbeveiligingsmaatregelen.

De werking is nu als volgt: indien een brand vroegtijdig wordt ontdekt en geblust door de BHV dan hoeven de andere maatregelen niet 'inwerking' te treden, het brandveiligheidsdoel is succesvol gehaald. Faalt de BHV (faalkans is circa 90%) dan wordt teruggegrepen op de twee volgende 'fall backs'.

Faalkans brandcompartimentering en BVD 2 Voor de scheidingsconstructie geldt dat deze dient te voldoen aan Wdbdo ≥ 60 minuten (E- en I-criterium volgens NEN 6068). Het I-criterium (thermische isolatie) is het meest bepalend. Hiervoor geldt dat aan de niet-verhitte zijde de lokale temperatuur niet groter dan 180°C mag worden. De thermische respons wordt beproefd in een oven met de standaardbrandkromme, zoals beschreven in de NEN-EN 1363-1. In deze norm staan ook de toleranties voor diverse aspecten. Zo mag de temperatuurmeting aan de niet-verhitte zijde

BVD	Prestatie	Faalkans P(F B) berekend O(getal)
BVD 1	Het draagvermogen van de constructie moet 60 minuten behouden blijven, na het ontstaan van de brand	$\leq 1 \text{ E-4}$
BVD 2	Het ontstaan en de verspreiding van vuur en rook binnen het bouwwerk zelf moet beperkt blijven. Binnen een brandcompartiment van 1.000 m ² en gedurende 60 minuten.	$\leq 2 \text{ E-3}$
BVD 3	De uitbreiding van de brand naar belendende bouwwerken moet beperkt blijven, binnen een periode van 60 minuten na het ontstaan van de brand.	$\leq 2 \text{ E-4}$
BVD 4a	De bewoners moeten het bouwwerk kunnen verlaten of anderszins in veiligheid kunnen worden gebracht. Het subbrandcompartiment moet binnen 3 minuten na het ontstaan van de brand zijn verlaten.	$\leq 2 \text{ E-2}$
BVD 4b	De bewoners moeten het bouwwerk kunnen verlaten of anderszins in veiligheid kunnen worden gebracht. Het gebouw moet binnen 15 minuten na ontdekking en alarmering van de brand zijn ontruimd.	$\leq 7 \text{ E-4}$
BVD 5	De veiligheid van de reddingsploegen moet in acht worden genomen, gedurende een standtijd van 60 minuten na het ontstaan van brand.	$\leq 2 \text{ E-4}$

-Tabel 1- Samengevatte prestaties en maximale faalkansen per brandbeveiligingsdoel voor het laagbouwkantoor (als referentie)

niet meer dan 4°C afwijken, dit leidt bij een temperatuur van 180°C al tot een tijdsafwijking van meer dan 10%. De normaalverdelingswaarden (voor de respons R) zijn dan $\mu=60$ minuten en $\sigma=6$ minuten. Voor de belastende brand (S) wordt de meer met de werkelijkheid overeenkomende natuurlijke brand, zoals beschreven in de NEN 6055 [6], toegepast. Voor het referentie laagbouwkantoor wordt het natuurlijk brandverloop berekend (te simuleren met een 2-zone-model of CFD) voor een kantoorverdieping. Deze waarde wordt omgerekend naar een aan de standaardbrandkromme equivalente branduur, om een vergelijk te maken met de brandwerendheid van de scheidingsconstructie in minuten standaard brandkromme. Deze uitwerking is projectspecifiek, voor elk gebouw en elke brandruimte in het gebouw wordt een ander resultaat verkregen. Als voorbeeld is een standaard kantoorverdieping uitgewerkt met een gemiddelde equivalente branduur volgens de standaard brandkromme van $\mu=44$ minuten en een standaard afwijking van $\sigma=12$ minuten, het gemiddelde is berekend aan de hand van een gevoeligheidsanalyse. De faalkans voor de scheiding bedraagt hiermee $P(F_{\text{wand}}|\text{Brand}) = 2,38 \text{ E-3}$. Nu heeft de betreffende wand ook meerdere openingen zoals deuren met deurdrangers en brandkleppen. Inclusief deze 'zwakke schakels' wordt de faalkans van het brandcompartiment $P(F_{\text{BC_intern}}|B) = 3,43 \text{ E-2}$. De prestatie van BVD 2 volgens het Bouwbesluit is, dat gedurende 60 minuten standaard brandkromme de brand binnen een brandcompartiment van 1.000 m² moet blijven. De totale faalkans wordt niet alleen bepaald door faalkansen van de brandscheiding, maar ook door succesansen van de brandrepressie (brandweer en BHV) en de bouwconstructie. Daarmee wordt de faalkans in dit geval $P(F_{\text{BVD2}}|B) = 1,65 \text{ E-3}$.

De herkomst van de faalkansen is divers en bevatten ook benaderingen. Daarom kunnen de erop gebaseerde berekeningsresultaten slechts worden beschouwd als 'orde van grootte' getallen (notatie O(getal)) en kunnen alleen dienen als een vergelijkingsmodel. Voor het laagbouwkantoor zijn op deze wijze alle faalkansen van de brandveiligheidsdoelen te berekenen voor een levensduur van 50 jaar, dit leidt tot de samengevatte tabel 1.

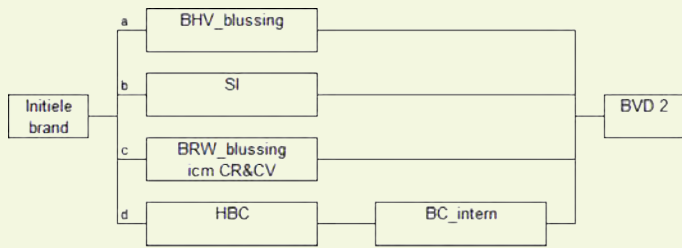
■ KWANTIFICERING HOOGBOUWKANTOOR

Als een Nederlands representatief hoogbouwkantoor is een gebouw genomen van 38 verdiepingen met verdiepingsooppervlakten van 1.000 m² met een centrale trap/liftkern. Omdat de ontruimingstijd langer wordt en ook de inzetijd van de brandweer langer wordt, gaan ontruiming en repressie elkaar kruisen. Een eerste ontwerp aanvulling om de brand langer te beheersen tot een lokale brand zonder daarvoor afhankelijk te zijn van brandweerinzet, is een sprinklerinstallatie. Deze installatie kan tevens dienen voor de brandsignalering en alarmering ten behoeve van de ontruiming. Voor een laagbouwkantoor is voor BVD 2 de faalkans op 2 E-3 berekend. Voor een hoogbouw moet, zoals hiervoor bepaald, de faalkans met een factor 10 afnemen en mag deze dus niet groter zijn dan 2 E-4 . Naast de logische keuze van de sprinklerinstallatie zijn twee andere ontwerpkeuzes gedaan. Op basis van de berekende ontruimingstijd en brandweerinzet van gezamenlijk circa 65 minuten is de standtijd van bouwconstructie uitgelegd op 90 minuten. Voor de brandcompartimentsgrootte is gekozen voor 3.000 m² (3 verdiepingen van 1.000 m² bij elkaar). Net als voor het laagbouwkantoor is BVD 2 nader uitgewerkt en wordt ook BVD 4b voor veilig vluchten toegelicht (zie figuren 5 en 6).

Faalkans brandcompartimentering en BVD 2 Voor de scheidingsconstructie is evenzo als voor het laagbouwkantoor (referentie) een $W_{\text{db}} \geq 60$ minuten aangehouden. Voor het hoogbouwkantoor wordt het natuurlijk brandverloop berekend voor 3.000 m² en omgerekend naar een aan de standaardbrandkromme equivalente branduur. Hieruit volgt een gemiddelde equivalente branduur (standaard brandkromme) van $\mu=53$ minuten met een standaard afwijking van $\sigma=18$ minuten. De faalkans van de scheiding wordt hiermee berekend op $P(F_{\text{wand}}|B) = 7,08 \text{ E-3}$. Met inbegrip van openingen zoals deuren met deurdrangers, brandkleppen wordt de totale faalkans van $P(F_{\text{BC_intern}}|B) = 3,91 \text{ E-2}$.

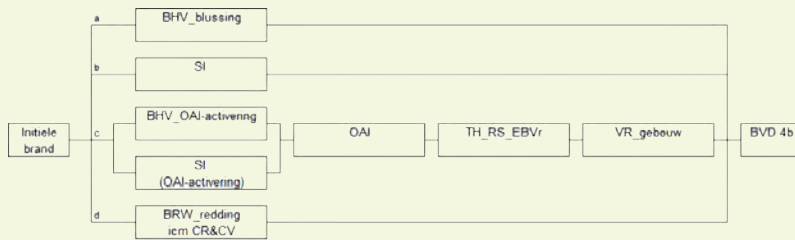
Faalkans sprinklerinstallatie

Van een volgens de NEN-EN 12845 ontworpen en gecertificeerde sprinklerinstallatie wordt voor normale gebouwen een faalkans van $P(F_{\text{sil}}|B) = 2 \text{ E-2}$ aangehouden (gegeven de conditie van brand). Een hoogbouwkantoor heeft een aantal verzwarende kenmerken zoals de grotere installatieomvang en water dat naar een grotere hoogte moet worden gepompt. Veiligheidshalve wordt in de hoogbouwsituatie een faalkans van $P(F_{\text{sil}}|B) = 5 \text{ E-2}$ gehanteerd. Met het vergroten van het brandcompartiment naar 3.000 m² ontstaat er een grotere vuurlast en langere branduur. Logischerwijs neemt dan ook de faalkans toe van de brandwerende scheiding (het functieblok BC_intern in figuur 4). Daar staat tegenover dat in BVD 2 een nieuw functieblok is toegevoegd in de vorm van een sprinklerinstallatie. De totale faalkans is in dit geval $P(F_{\text{BVD2}}|B) = 2,41 \text{ E-4}$. Zonder de sprinklerinstallatie zou $P(F_{\text{BVD2}}|B)$ uitkomen op $4,82 \text{ E-3}$, kortom de toegevoegde waarde van de sprinklerinstallatie is groot (kwantitatief een factor 5 E-2). De uitwerking is feitelijk een doelgericht alternatief voor de Methode Beheersbaarheid



BHV_blussing=BHV-inzet
 SI=sprinklerinstallatie
 BRW_blussing=brandweerinzet icm commandoruimte en communicatievoorzieningen
 HBC=bouwconstructie, BC_intern=brandcompartimentering

-Figuur 4- Brandbeveiligingsmaatregelen voor het realiseren van BVD 2 (brandcompartimentering) voor het hoogbouwkantoor



BHV_blussing=BHV-inzet
 SI=sprinklerinstallatie
 BRW_redding=brandweerinzet icm commandoruimte en communicatievoorzieningen
 OAI=ontruimingsalarminstallatie
 TH_RS_EBVr=vluchttrappenhuis als EBVr met rooksluis
 VR_gebouw=vluchtroutes in het gebouw naar buiten

-Figuur 5- Brandbeveiligingsmaatregelen voor het realiseren van BVD 2 (brandcompartimentering) voor het hoogbouwkantoor

het vluchten uit het bedreigde subbrandcompartiment is de toegevoegde waarde nog moeilijk aantoonbaar, maar wel statistisch onderkend. Maar voor het veilig vluchten uit het verdere gebouw is de toegevoegde waarde zeker kwantificeerbaar. De vluchtwegen buiten het brandende (sub-)brandcompartiment worden met het onder controle of lokaal houden van de brand niet meer bedreigd. Het brandveiligheidsdoel 4b is in figuur 5 als betrouwbaarheidsblokdigram weergegeven met de van toepassing zijnde brandbeveiligingsmaatregelen. De configuratie toont direct de waarde van de sprinklerinstallatie. De betrouwbaarheid neemt toe met een factor 20 (de inverse van $P(F_{SI}|B) = 5 E-2$). Voor alle brandveiligheidsdoelen zijn op een gelijke wijze als voor het laagbouwkantoor de prestaties en faalkansen te bepalen, dit leidt tot de samengevatte tabel 2. De tabel toont aan dat de gestelde eisen worden gehaald. Hiermee is ook onderbouwd dat het hoogbouwkantoor een 'zelfde mate van brandveiligheid' heeft als het laaggebouwkantoor. De uitwerking toont ook aan dat met name de draagconstructie lichter kan worden uitgevoerd dan uit de 'rule based' eisen volgt, in plaats van R=120 minuten is R=90 ook voldoende. Daarnaast blijkt ook dat onder andere grotere brandcompartimenten mogen worden toegepast.

CONCLUSIE

Op basis van een risico-afweging is een verifieerbare 'zelfde mate van brandveiligheid' mogelijk voor een hoogbouw kantoorfunctie in vergelijking met een referentie laagbouw kantoorfunctie. Deze doelgerichte benadering leidt tot een grotere ontwerprijheid maar vergt tegelijkertijd een grondige kennis van fire safety engineering en betrouwbaarheidsleer. De betrouwbaarheidsleer met betrouwbaarheidsblokdigrammen blijkt ook voor

van brand [7]. Met het vergroten van het brandcompartiment ontstaat een grotere vuurbelasting en een ander brandscenario. Bij een gelijkblijvende prestatie (het beheersbaar houden van de brand) kan nu voor de nieuwe situatie (groter brandcompartiment, grotere brand door hogere vuurlast met aanvullende brandbeveiligingsmaatregelen) worden bepaald wat de faalkans is. Deze faalkans moet

gelijk of kleiner zijn dan voor een brandcompartiment van 1.000 m², anders zijn meer of zwaardere brandbeveiligingsmaatregelen nodig of moet de vuurlast worden verlaagd.

Faalkans veilig vluchten uit het gebouw en BVD 4b

Voor het veilig vluchten is de sprinklerinstallatie een onderbelichte installatie. Zeker voor

BVD	Prestatie	Faalkans P(F B) vastgestelde eis O(getal)	Faalkans P(F B) berekend O(getal)
BVD 1	Het draagvermogen van de constructie moet gedurende 90 minuten behouden blijven	≤ 1 E-5	4 E-6
BVD 2	Het ontstaan en de verspreiding van vuur en rook binnen het bouwwerk zelf moet beperkt blijven. Binnen een brandcompartiment van 3.000 m2 en gedurende 60 minuten.	≤ 2 E-4	2 E-4
BVD 3	De uitbreiding van de brand naar belendende bouwwerken moet beperkt blijven, gedurende 60 minuten.	≤ 4 E-5	1 E-5
BVD 4a	De bewoners moeten het direct bedreigde gebied (subbrandcompartiment) binnen 3 minuten na het ontstaan van de brand hebben verlaten. Deze eis blijft ongewijzigd.	≤ 2 E-2	2 E-2
BVD 4b	De aanwezigen moeten het bouwwerk kunnen verlaten of anderszins in veiligheid kunnen worden gebracht.	≤ 7 E-5	4 E-5
BVD 5	De veiligheid van de reddingsploegen moet in acht worden genomen	≤ 2 E-5	1 E-5

-Tabel 2- Samengevatte prestaties en acceptabele faalkansen per brandbeveiligingsdoel voor het hoogbouwkantoor

brandveiligheid in gebouwen een effectieve wijze van onderbouwen van prestaties en faalkansen. De uitwerking van risico-afwegingen is mede gebaseerd op de probabilistische benadering zoals deze ook in de Eurocodes voor bouwconstructies wordt gehanteerd. Het op de risicobenadering gebaseerde ontwerp laat zien dat een aantal brandbeveiligingsmaatregelen lichter kunnen worden uitgevoerd dan volgens de generieke regels uit de Handreiking Brandveiligheid in hoge gebouwen. De risicobenadering sluit aan op de 'Visie op brandveiligheid' [8] van het ministerie van BZK om risicobenadering en doelkwantificering breder toe te passen. De oude discussie van de nadelige faalkansen van brandbeveiligingsinstallaties is in dit artikel breder getrokken naar ook de bouwkundige en organisatorische voorzieningen, waarmee een evenwichtige beoordeling kan worden gemaakt tussen de beoogde doelen met faalkansen van alle beveiligingsvoorzie-

ningen. En zo blijkt de sprinklerinstallatie een sterk positieve bijdrage te leveren. De herkomst van de faalkansdata is divers en bevat onzekerheden, maar kan goed worden toegepast als vergelijkingsmodel zoals in dit artikel beschreven. Een vergelijk met werkelijke brandstatistiek zou zeer welkom zijn maar hiervoor is de CBS-brandstatistiek op dit moment te summier (in frequentie en detailering). In dit artikel is ingegaan op verifieerbare 'zelfde mate van brandveiligheid' uit het Bouwbesluit. Het Bouwbesluit stelt expliciet dat materiele schade beperking en bedrijfscontinuïteit een private aangelegenheid is. Maar de aspecten kunnen wel als zesde en zevende brandveiligheidsdoel worden toegevoegd in een overall overweging.

Rob Kisjes



LITERATUUR

1. Praktijkrichtlijn Brandveiligheid in hoge gebouwen, SBR, 2005
2. Handreiking Brandveiligheid in hoge gebouwen, SBR, 2014
3. Kisjes, ir R.J.E., Brandveiligheid in een hoogbouwkantoor; doelkwantificering obv het Bouwbesluit 2012, afstudeerscriptie, 2014
4. Eurocodes; normen voor het toetsen van de constructieve veiligheid van bouwconstructies
5. Stapelberg, R.F., Handbook of reliability, availability, maintainability and safety in engineering design, 2009
6. NEN 6055, Fysisch brandmodel op basis van een natuurlijk brandconcept, 2011
7. Methode Beheersbaarheid van brand, Save, 2007
8. Visie op brandveiligheid, Ministerie van Binnenlandse Zaken, 2009

KE FIBERTEC

AIR THE WAY YOU WANT

CradleVent®: duurzame textiele luchtverdeelslangen van productie tot recycling

CradleVent®
Green thinking by KE Fibertec
ke-fibertec.nl/C2C

Het Cradle to Cradle Keurmerk garandeert de duurzaamheid van het product en de verantwoordelijkheid die KE Fibertec neemt voor de volledige levenscyclus van het product: van productie tot recycling.

Meer weten: Kijk op www.ke-fibertec.nl of bel: 078 - 674 88 88

in b f

CERTIFIED cradleto cradle SILVER