

Probabilistische benadering van veiligheid

Kennisbank Bouwfysica
Auteur: ir. Ruud van Herpen

1 Prescriptieve eisen 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 ontwerpvrijheid te bieden en innovaties in de bouw niet te belemmeren.

Met prescriptieve eisen 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 grootheid met een grenswaarde en een bepalingmethode (normaal gesproken een NEN-norm). Prestatie-eisen geven dus meer vrijheid dan prescriptieve eisen.

Ter illustratie de volgende twee voorbeelden.

1. Luchtverversing:

In prescriptieve eisen wordt voor de luchtverversing via natuurlijk ventilatieroosters een netto doorlaat voorgeschreven van het rooster. De openheid (in cm^2) van het rooster ligt dus vast, hiervan mag niet worden afgeweken. In prestatie-eisen wordt een capaciteit (in dm^3/s) van het rooster voorgeschreven. De prestatie-eis is daarmee geformuleerd in de grootheid die voor de ventilatie van een ruimte van belang is, namelijk een luchtvolumestroom. Er wordt niet bepaald hoe deze capaciteit moet worden gerealiseerd. Dat geeft dus meer ontwerpvrijheid.

2. Beperking van branduitbreiding:

In prescriptieve eisen wordt voor de beperking van branduitbreiding een brandwerendheid aan een compartimentsgrens 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 brandcompartiment en 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 eisen en prestatie-eisen.

Tabel 1: Prescriptieve eisen versus prestatie-eisen

Type regelgeving	Voordelen	Nadelen
Prescriptief	<ul style="list-style-type: none">• Rechtijnige toetsing van de voorziening• Geen engineeringsvaardigheden nodig	<ul style="list-style-type: none">• Eisen liggen vast zonder dat het beoogde doel is beschreven• Aanname dat het veiligheidsniveau alleen op de beschreven wijze kan worden bereikt• Hoog detailniveau van eisen• Innovatiebelemmerend
Prestatie gericht	<ul style="list-style-type: none">• Eisen beschrijven het beoogde doel• Innovatiebevorderend: nieuwe kennis en technieken kunnen worden ingezet zodra deze beschikbaar zijn• Internationale harmonisatie is mogelijk• Eenvoudige eisen, minder gedetailleerd	<ul style="list-style-type: none">• Engineeringsvaardigheden zijn noodzakelijk, ook voor toetsing• Kwantificering van het veiligheidsniveau en validering van de instrumenten hiervoor

2 De 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 onder andere doordat voor elke relevante grootte afzonderlijk een prestatie-eis is gedefinieerd. Daardoor ontstaat een groot aantal eisen. Hoofdstuk 2 van het Bouwbesluit, waarin de bouwtechnische voorschriften uit oogpunt van veiligheid zijn opgenomen, illustreert dit. 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 ('maatwerk') is daardoor niet mogelijk. Anderzijds zijn er ook belangrijke voordelen. De toetsing is relatief eenvoudig; voor elke grootte 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 alleen gericht op effectbeheersing. Met andere woorden, er wordt uitgegaan van een brandsituatie in een brandcompartiment. Uitgaande van die brandsituatie zijn de prestatie-eisen erop gericht om een beheersbare situatie te realiseren waarin veilig gevluht 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. Het voorbeeld in figuur 1 geeft dit goed weer.



Figuur 1: 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).

Figuur 1 laat twee industrie functies zien voor het opslaan van goederen, 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 tot een compartimentsbrand is in de twee industrie functies geheel verschillend. Deze kans is in het vriesveem aanzienlijk kleiner dan in de opslag bij omgevingstemperatuur. Kortom, vanuit probabilistisch oogpunt is er een groot verschil tussen het vriesveem en de opslag bij kamertemperatuur.

Dit voorbeeld geeft aan dat de publiekrechtelijke regelgeving (Bouwbesluit) leidt tot verschillende veiligheidsniveaus bij verschillende gebouwen, zelfs wanneer deze dezelfde gebruiksfunctie en bezettingsgraadklasse 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 een risicogrenswaarde kan worden vastgelegd.

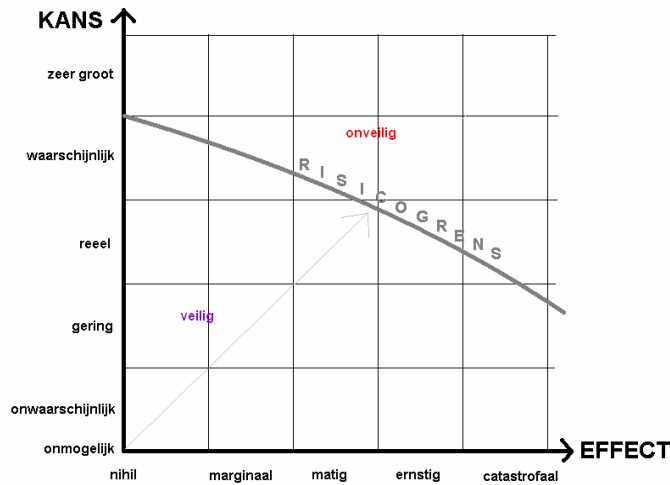
3 Probabilistische benadering van veiligheid

Risico kan worden gedefinieerd als het product van de kans op het optreden van een incident en het effect dat hiervan het gevolg is. Dit 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 lethale slachtoffers, schade-effecten in kosten.

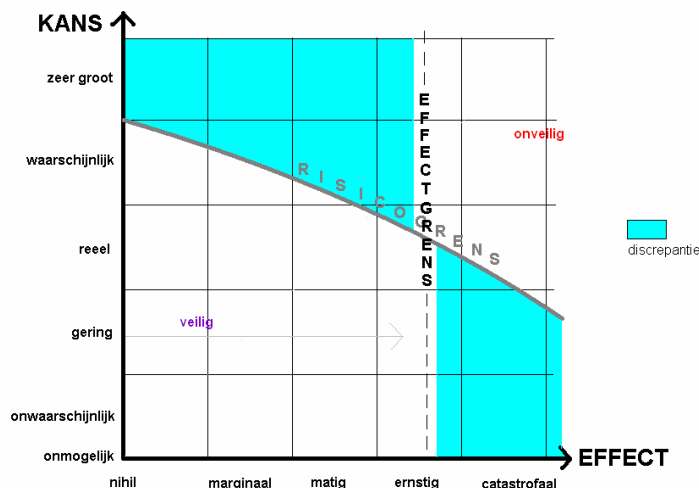
De bovenstaande relatie is in de matrix van figuur 2 grafisch weergegeven. In een dergelijke matrix kan ook het toelaatbare risico (risicogrens) worden weergegeven. Dit hoeft niet persé een lineaire relatie te zijn.



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

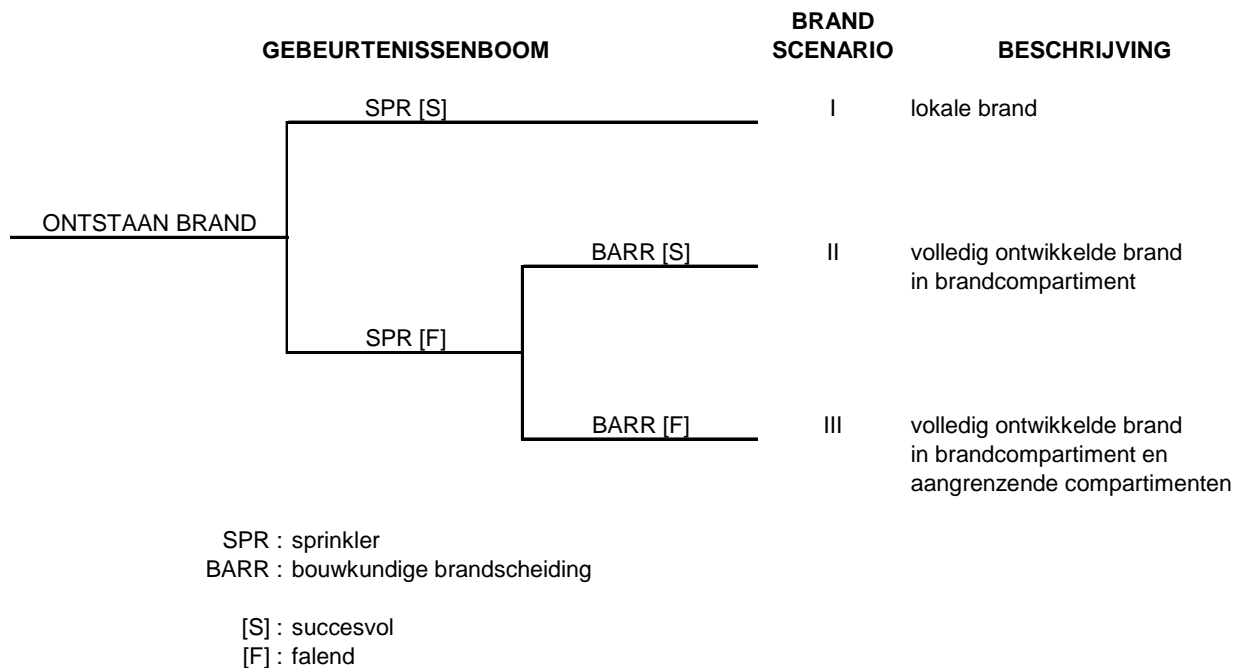
Het veiligheidsniveau van de publiekrechtelijke regelgeving (Bouwbesluit) is niet in een risicogrens te vertalen. De regelgeving beperkt zich tot effectbeheersing in een deterministische benadering. Het Bouwbesluit illustreert dit duidelijk. Hierin worden eisen voorgeschreven uit oogpunt van brandbeheersing, rookbeheersing, constructieve veiligheid en vluchtveiligheid, ervan uitgaande dat er een brand kan ontstaan. De kans op het ontstaan van brand en het ontwikkelen hiervan tot een compartimentsbrand speelt geen rol.

In de matrix van figuur 2 betekent dit dat de veiligheidsgrenswaarde volgens het Bouwbesluit als een effectgrenswaarde kan worden weergegeven, zie figuur 3. Overigens moet daarbij nog worden opgemerkt dat deze effectgrenswaarde vrij diffuus is. Het toelaatbare effect is niet in alle situaties gelijk.



Figuur 3: De risicomatrix van figuur 2, nu met een effectgrenswaarde daarin weergegeven (veiligheidsniveau Bouwbesluit). Hierdoor kunnen grote verschillen ontstaan met een veiligheidsniveau dat is gedefinieerd in een risicogrenswaarde.

Het kenmerk van een probabilistische benadering is een risico-analyse van min of meer waarschijnlijke scenario's. Deze scenario's bestaan uit een aaneenschakeling van gebeurtenissen. Figuur 4 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 maatgevende scenario is het scenario met het grootste risico. Deze zal getoetst moeten worden aan de risicogrenswaarde.



Figuur 4: Eenvoudige gebeurtenissenboom van mogelijke incidenten bij een brandbeheersingssysteem bestaande uit sprinklers (SPR) en bouwkundige brandscheidingen (BARR) (International Fire Engineering Guidelines, 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 de grenswaarde van het risico vastligt, uitgedrukt in lethale slachtoffers (veiligheidsgrenswaarde) of kosten (schadegrenswaarde). Door de werkgroep Fire Safety Engineering van NEN is hiervoor een voorzet gegeven voor constructieve brandveiligheid (brandwerendheid met betrekking tot bezwijken van de hoofddragconstructie).

4 Constructieve brandveiligheid door een fysisch brandmodel met toepassing van risicofactoren

Het uitvoeren van een risico-analyse is tijdrovend, zeker wanneer het meer complexe scenario's betreft. Voor elk scenario kan met een fysisch brandmodel 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.

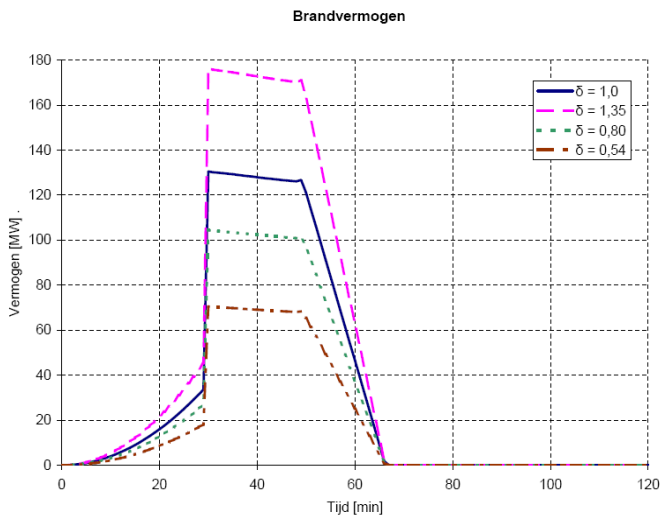
Om een dergelijk uitgebreide aanpak te vermijden kan met risicofactoren worden gerekend, die generiek bepaald zijn door middel van statistisch onderzoek. De methodiek hiervan is voor constructieve veiligheid vastgelegd in NEN-EN 1990. Daarin wordt een risicofactor toegepast op de (mechanische) belasting, rekening houdend met het draagvermogen van de constructie die aan de belasting onderhevig is. De mechanische belasting bestaat daarbij uit diverse componenten (permanente belasting, variabele belasting, windbelasting, sneeuwbelasting, etc.) die afhankelijk van de situatie worden meegewogen. Het toelaatbare risico wordt daarbij uitgedrukt als de toelaatbare kans op het bezwijken van de hoofdconstructie.

In een brandsituatie is naast een mechanische belasting ook een thermische belasting aanwezig op de draagconstructie. In NEN-EN 1991-1-2 (Eurocode 1) wordt voor de thermische belasting in bijlage E van deze norm aangesloten op de methodiek van NEN-EN 1990. Dit leidt tot een benadering met risicofactoren, waarin de kans op het bezwijken van een constructie (het maatgevende effect) afhankelijk wordt gesteld van de kans op het ontstaan van een brand die uitgroeit tot een compartimentsbrand. Deze risicofactoren hangen af van:

- de gebruiksfunctie van de brandruimte,
- de grootte van de brandruimte en
- het niveau van de brandbeveiligingsvoorzieningen

In Eurocode 1 wordt de vuurbelasting gezien als thermische belasting en wordt de risicofactor dan ook op de vuurbelasting toegepast. Echter, dit is principieel onjuist. De vuurbelasting is de aanwezige potentiële brandenergie in een brandruimte. Deze vormt niet de thermische belasting op de constructie. Immers, ook in de situatie zonder brand is deze potentiële brandenergie aanwezig. Het kenmerk van brand is juist dat deze potentiële energie wordt omgezet in warmte. De snelheid waarmee dit gebeurt bepaalt de temperatuur in de brandruimte. Niet de vuurbelasting, maar de brandvermogensdichtheid moet dus als thermische belasting op de constructie worden aangemerkt.

Dit is gerepareerd in de nationale bijlage bij Eurocode 1 (NEN-EN 1991-1-2/NB). De risicofactoren kunnen variëren van $\delta = 0,54$ tot $\delta > 2$ en worden toegepast op de brandvermogensdichtheid. In figuur 5 is een voorbeeld gegeven.

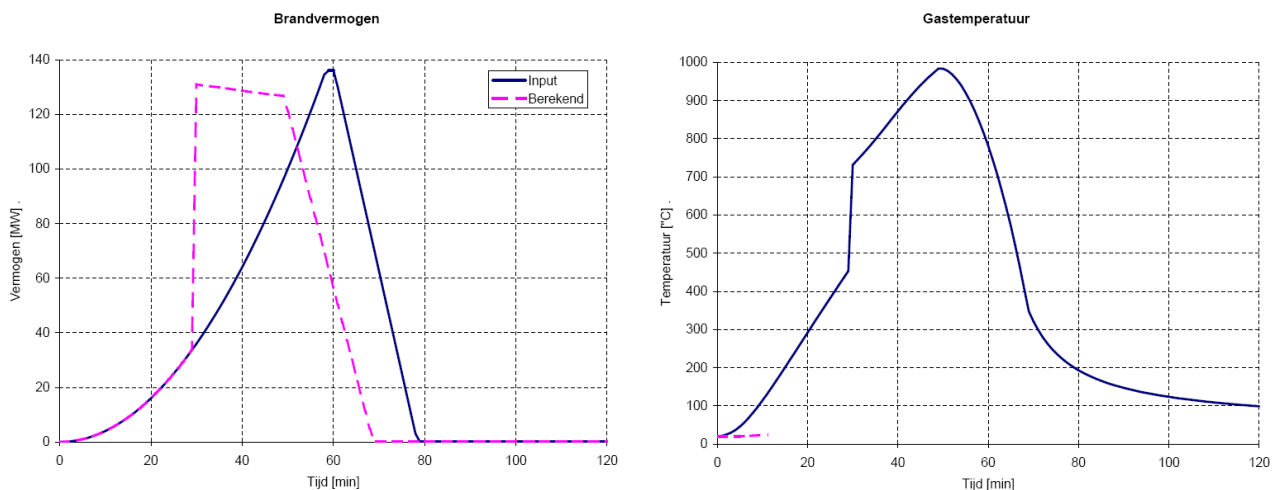


Figuur 5: Het brandvermogensscenario in een brandcompartiment met een kantoorfunctie bij verschillende brandbeveiligingsvoorzieningen (verschillende risicofactoren $\delta=1,35$, $0,80$ en $0,54$) t.o.v. het referentiescenario ($\delta=1,0$).

Het referentiescenario in figuur 5 is het brandvermogensscenario dat uit een fysisch brandmodel op basis van een natuurlijk brandconcept volgt (figuur 6). Dit fysisch scenario en het daaruit voortvloeiende temperatuurverloop wordt bepaald door:

- De aard en hoeveelheid 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

In dit brandscenario worden ontwikkelingsfase (pre flash-over), compartimentsbrand (post flash-over) en dooffase beschouwd. Het temperatuurverloop wijkt dan ook aanzienlijk af van de standaard brandkromme.



Figuur 6: Voorbeeld van een brandvermogensscenario in een brandcompartiment van een kantoorfunctie met het bijbehorende temperatuurverloop.

Voor hogere brandwerendheidseisen met betrekking tot bezwijken van de hoofddraagconstructie (90 en 120 min.) wordt in de nationale bijlage een correctiefactor op de vuurbelasting toegepast. Momenteel is de werkgroep Fire Safety Engineering bezig om aan deze correctiefactor een probabilistische onderbouwing te geven. Daarvoor wordt de toelaatbare kans op het bezwijken van de hoofddraagconstructie herbeschouwd. Deze kan enerzijds gekoppeld worden aan een groepsrisico (zoals de Consequences Classes in NEN-EN 1990, zie tabel 2). Anderzijds is een koppeling aan een plaatsgebonden risico voor de hand liggend. Dat laatste sluit meer aan op het Bouwbesluit.

Tabel 2: Consequences Classes conform NEN-EN 1990

Consequences Class	Description
CC3	High consequence for loss of human life, <i>or</i> economic, social or environmental consequences very great
CC2	Medium consequence for loss of human life, economic, social or environmental consequences considerable
CC1	Low consequence for loss of human life, <i>and</i> economic, social or environmental consequences small or negligible

Het is mogelijk dat op basis van dit onderzoek de correctiefactor op de vuurbelasting voor andere veiligheidsniveaus (brandwerendheid met betrekking tot bezwijken, hoger dan 60 minuten) in de nationale bijlage wordt herzien. Dit doet verder niet af aan het feit dat met de nationale bijlage bij eurocode 1 een probabilistisch toetsinstrument is verkregen dat min of meer aansluit bij het nationale (publiekrechtelijke) veiligheidsniveau.

5 Tenslotte

De gepresenteerde risicobenadering volgens de nationale bijlage bij eurocode 1 is alleen geschikt voor constructieve veiligheid. Voor mensveiligheid (vluchtveiligheid, repressieve inzet, e.d.) is een dergelijke risicobenadering (nog) niet mogelijk. Dat houdt in dat voor de beschouwing van de mensveiligheid het fysisch brandmodel zonder risicobenadering moet worden toegepast (feitelijk dus $\delta = 1$). In dat geval zal gelijkwaardige veiligheid op een andere manier moeten worden aangetoond. De gebruikelijke weg hiervoor is om realistische worst-case scenario's fysisch te beschouwen en het effect daarvan te vergelijken met het effect dat volgens het Bouwbesluit toelaatbaar is.

Hoewel we sinds de invoering van het Bouwbesluit in 1992 op deze wijze met gelijkwaardige oplossingen omgaan is dit geen echte veiligheidsbeschouwing. Het is wenselijk om in de publiekrechtelijke regelgeving naast prestatie-eisen die gericht zijn op effectbeheersing een probabilistische prestatie-eis te formuleren, in termen van zowel groepsrisico (gebruikers, hulpverleners, omgeving) als plaatsgebonden risico.

Bibliografie

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).