

## Fysisch brandmodel

*Achtergronden:  
Normalisatie fysisch brandmodel  
Statistische en probabilistische  
aspecten*

i.o.v.

---

NEN Bouw  
Postbus 5059  
2600 GB DELFT

---

Adviesburo Nieman B.V.

Curieweg 4a  
Postbus 40147  
8004 DC ZWOLLE

zwolle@nieman.nl  
 www.nieman.nl

---

---

Datum	september 2007
Projectnr	u040430aa
Documentnr	Wu040430aaA3.rhe


---



Opdrachtgever

---

NEN Bouw  
Postbus 5059  
2600 GB DELFT  
T (015) 269 03 90  
F (015) 269 01 90  
vertegenwoordigd door:  
de heer ir. R.H.M. Nouwen



Omschrijving project

---

Achtergronden  
Normalisatie fysische brandmodel  
**Statistische en probabilistische aspecten**

---

Projectnummers

Nieman u040430aa  
NEN Bouw

---

Datum

september 2007

---

Versie


Definitief

---

Uitgevoerd door

Adviesburo Nieman B.V.  
Vestiging Zwolle

ir. R.A.P. van Herpen  
ir. N.J. Voogd



Het rapport omvat:

56 pagina's en 5 bijlagen

---



# Inhoudsopgave

		Pagina
<b>Hoofdstuk 1</b>	<b>Vuurbelasting, referentie vermogensdichtheden en branduitbreidingssnelheid</b>	<b>7</b>
1.1	Vuurlast in verschillende bouwtypen	7
1.2	Branduitbreidingssnelheid	13
1.3	Referentievermogensdichtheden	18
<b>Hoofdstuk 2</b>	<b>Probabilistische aspecten</b>	<b>21</b>
2.1	Inleiding	21
2.2	Risico-analyse	22
<b>Hoofdstuk 3</b>	<b>De risicofactor op de vuurbelasting</b>	<b>25</b>
3.1	Kansrekening	25
3.2	De globale risicofactor	29
3.3	Afstemming op het veiligheidsniveau van de nationale regelgeving	30
<b>Hoofdstuk 4</b>	<b>Deelrisicofactoren</b>	<b>33</b>
4.1	Risicofactor maximale brandoppervlakte	33
4.2	Risicofactor type gebruik	35
4.3	Risicofactoren voor actieve brandveiligheidsmaatregelen	36
<b>Hoofdstuk 5</b>	<b>Rekenprotocol ontwerpwaarde vuurbelasting</b>	<b>39</b>
<b>Hoofdstuk 6</b>	<b>Evaluatie probabilistische benadering</b>	<b>41</b>
6.1	Toepassingsgebied	41
6.2	Voorwaarden	41
6.3	De globale risicofactor	41
6.4	De deelrisicofactoren	46
<b>Hoofdstuk 7</b>	<b>Aanbevelingen probabilistische benadering</b>	<b>49</b>
7.1	Algemeen	49
7.2	De rekenwaarde van de brandvermogensdichtheid	49
7.3	De rekenwaarde van de vuurbelasting	50
7.4	Tabellen risicofactoren en vermenigvuldigingsfactoren	51
<b>Literatuur</b>		<b>55</b>

**Bijlagen:**

<b>Bijlage A</b>	<b>Variabele vuurbelasting (gebruiksfuncties)</b>
<b>Bijlage B</b>	<b>Branduitbreidingssnelheid (gebruiksfuncties)</b>
<b>Bijlage C</b>	<b>Referentievermogensdichtheid (gebruiksfuncties)</b>
<b>Bijlage D</b>	<b>Probabilistisch rekenen</b>
<b>Bijlage E</b>	<b>Risicofactoren gebouw, gebruik en brandveiligheidsmaatregelen</b>

# Hoofdstuk 1 Vuurbelasting, referentie vermogensdichtheden en branduitbreidingsnelheid

## 1.1 Vuurlast in verschillende gebouwtypen

### 1.1.1 Inleiding

Een parameter die in belangrijke mate de duur van een brand bepaalt is de totale vuurlast die in een ruimte aanwezig is. Deze totale vuurlast bestaat uit een permanent deel en een variabel deel. De permanente vuurlast is dat gedeelte van de vuurlast dat vast in de constructie van het gebouw aanwezig is (bijvoorbeeld brandbare isolatie, dakbedekking, etc). Vuurlast aan de buitenzijde van de brandscheiding in een constructie kan buiten beschouwing worden gelaten. De variabele vuurlast bestaat uit de brandbare delen van de stoffering en inrichting van een gebouw.

De totale vuurlast is in de praktijk voor elke ruimte anders en vooraf vaak niet bekend. Bij berekeningen met het Fysisch brandmodel zal dus een inschatting gedaan moeten worden voor deze parameter.

Voor de variabele vuurlast kan gebruik gemaakt worden van een deterministische benadering of een statistische benadering. Bij een deterministische benadering wordt een berekening gemaakt op basis van de te verwachten brandbare materialen in een ruimte. Bij de statistische benadering wordt uitgegaan van statistische data uit onderzoeken in vergelijkbare gebruiksfuncties/gebouwtypen.

Naast de variabele vuurlast moet ook de permanente vuurlast bekend zijn. Hiervoor zal een schatting of berekening gemaakt moeten worden aan de hand van het ontwerp (deterministische benadering).

Hieronder zal ingegaan worden op de variabele vuurbelasting. Uit diverse onderzoeken zijn statistische gegevens bekend van de aanwezige variabele vuurlast in verschillende typen gebouwen. De vuurlast wordt in deze onderzoeken uitgedrukt in vuurlast per m<sup>2</sup> vloeroppervlak, ofwel de vuurbelasting. Verschillende publicaties met gegevens over de variabele vuurbelasting zullen hieronder behandeld worden. Na een korte evaluatie van deze data wordt ingegaan op de variabele vuurbelasting die in het Fysisch brandmodel kan worden gehanteerd. Daarbij wordt, zover mogelijk, een vertaalslag gemaakt naar de gebruiksfuncties volgens het Bouwbesluit.

### 1.1.2 Literatuuronderzoek statistische gegevens van variabele vuurbelasting

#### **NEN-EN 1991-1-2:2002**

De Eurocode 1 deel 1-2 bevat een informatieve bijlage (bijlage E) waarin diverse parameterwaarden (zoals vuurlast, branduitbreidingsnelheid en veiligheidsfactoren) voorgesteld worden. Per land kan deze bijlage aangepast worden, indien er op nationaal niveau door cultuur bepaalde verschillen met de Europese waarden verwacht worden. Voor de Nederlandse bijlage zullen deze parameterwaarden uitgangspunten zijn voor het project Fysisch Brandmodel. Op dit moment bevat bijlage E nog door de CEN (European Committee for

Standardization) voorgestelde waarden. Voor de variabele vuurbelasting zijn in bijlage E tabel E.4 voor een aantal veel voorkomende gebouwtypen waarden gegeven voor de gemiddelde vuurbelasting en 80%-fractiel-waarden<sup>1</sup>. Er wordt geen referentie gegeven waar de genoemde waarden vandaan komen, maar de data komt exact overeen met de data genoemd in het Natuurlijk Brandconcept (2001) (zie hieronder).

De gegeven waarden voor de variabele vuurbelasting uit NEN-EN 1991-1-2 zijn opgenomen in tabel A.1 in bijlage A bij dit rapport.

### **CIB W14 Workshop Report (1983)**

Het rapport van de CIB W14 workshop uit 1983 bevat gegevens van een in Zweden uitgevoerd onderzoek. Volgens het rapport geeft het Zweedse onderzoek bij benadering dezelfde waarden als onderzoeken naar variabele vuurbelasting uitgevoerd in Zwitserland en de Verenigde Staten.

De meeste onderzoeksgegevens die in het rapport genoemd worden zijn gegevens van de vuurlast gerelateerd aan het totale oppervlak van de omhullende scheidingsconstructies<sup>2</sup>. Daarnaast zijn voor diverse gebouwtypen gegevens opgenomen van de variabele vuurbelasting gerelateerd aan het vloeroppervlak (alleen 80%-fractiel-waarden). Deze waarden zijn opgenomen in tabel A.1 in bijlage A bij dit rapport.

### **Design Guide Structural Fire Safety, Appendix 1 Fire Load Density (1986)**

Op basis van de CIB W14 workshop is ook de publicatie 'Design Guide, Structural Fire Safety' uitgebracht. In Appendix 1 van de publicatie wordt een overzicht gegeven van verschillende onderzoeken naar variabele vuurbelasting in diverse landen, waaronder Zweden, Zwitserland, de Verenigde Staten, Duitsland en Nederland.

Voor verschillende gebouwtypen zijn gedetailleerde gegevens over de variabele vuurbelasting opgenomen, waarbij elke gebruiksfunctie is opgesplitst in een fijnere onderverdeling (tabellen A1.3.1 tot en met A1.3.8). Bij de meeste onderzoeken zijn gemiddelde waarden voor de vuurbelasting en standaarddeviaties gegeven, soms ook fractiel-waarden. De opgenomen gebouwtypen zijn: woningen, ziekenhuizen, hotels, kantoren, winkelcentra en warenhuizen, industriegebouwen en ten slotte scholen.

<sup>1</sup> 80%-fractiel-waarden geven de vuurbelasting die in 80% van de gebouwen van een bepaalde gebruiksfunctie niet overschreden wordt (statistische benadering).

De variabele vuurbelasting is verdeeld volgens de Gumbel type 1-verdeling. Fractiel-waarden bij deze verdeling kunnen uit de gemiddelde vuurbelasting en de standaarddeviatie berekend worden volgens:

$$q_p = q_m + \sigma \cdot K_p \quad (1.1)$$

met:

$$K_p = -0,45 - 0,78 \cdot \ln(-\ln p) \quad (1.2)$$

waarin:  $q_p$  = p-fractiel-waarde van de vuurbelasting [MJ/m<sup>2</sup>]  
 $q_m$  = gemiddelde vuurbelasting [MJ/m<sup>2</sup>]  
 $\sigma$  = standaarddeviatie van de vuurbelasting [-]  
 $p$  = fractiel-coëfficiënt (waarde tussen 0 en 1) [-]

<sup>2</sup> Het idee om de vuurlast te relateren aan de oppervlakte van de omhullende constructies is gebaseerd op het feit dat deze oppervlakte een fundamentele parameter is in de energiebalans van een compartimentsbrand (CIB W14 Workshop Report, 1983, pp. 24).



Daarnaast is in tabel A1.3.13 een zeer uitgebreide lijst opgenomen van gemiddelde variabele vuurbelastingen voor specifieke bestemmingen (in totaal circa 530 bestemmingen). Deze data is gebaseerd op Zwitsers onderzoek uitgevoerd in de periode 1967-1969 door een groep van 10 tot 20 studenten onder toezicht van de Brandverhütungsdienst für Industrie and Gewerbe. Voor elke bestemming zijn minimaal 10 tot 15 unieke berekeningen verricht; voor de meeste bestemmingen waren meer dan 20 berekeningen beschikbaar. Voor de publicatie van deze gegevens in 1986 waren de oorspronkelijke opnameformulieren niet beschikbaar, zodat de standaarddeviaties en de fractielwaarden niet berekend konden worden. Voor een schatting van de standaarddeviaties en de fractielwaarden zijn de gemiddelde waarden daarom vergeleken met de waarden in de tabellen A1.3.1 tot en met A1.3.8. Op basis hiervan wordt in de publicatie voor het bepalen van fractielwaarden uit de gemiddelde waarden aangeraden als volgt te werk te gaan:

- voor goed gedefinieerde bestemmingen die relatief gelijk zijn of zeer beperkte verschillen in inrichting en opgeslagen goederen hebben (bijvoorbeeld woningen, ziekenhuizen, kantoren en scholen), kan gebruik gemaakt worden van:
  - variatiecoëfficiënt<sup>3</sup>: 30% - 50% van de gemiddelde waarde
  - 80%-fractiel-waarde: (1,25 - 1,50) \* gemiddelde waarde
  - 90%-fractiel-waarde: (1,35 - 1,65) \* gemiddelde waarde
  - maximale waarde: 2 \* gemiddelde waarde
- voor bestemmingen die relatief ongelijk zijn of grotere verschillen in inrichting en opgeslagen goederen hebben (bijvoorbeeld winkelcentra, warenhuizen en industriële gebouwen), kan gebruik gemaakt worden van:
  - variatiecoëfficiënt<sup>3</sup>: 50% - 80% van de gemiddelde waarde
  - 80%-fractiel-waarde: (1,45 - 1,75) \* gemiddelde waarde
  - 90%-fractiel-waarde: (1,65 - 2,00) \* gemiddelde waarde
  - maximale waarde: 2,5 \* gemiddelde waarde

### **International Fire Engineering Guidelines (2005)**

De publicatie International Fire Engineering Guidelines is voortgekomen uit een samenwerkingsverband tussen Australië, Nieuw Zeeland, de Verenigde Staten en Canada en is in mei 2005 uitgegeven. Deel 0 gaat in op de aansluiting tussen fire engineering en de regelgeving; dit deel is per land verschillend. De delen 1, 2 en 3 bevatten beschrijvingen van respectievelijk het proces, methoden en data voor fire engineering en zijn geldig voor alle vier de landen.

In hoofdstuk 3.4 van de publicatie zijn gegevens opgenomen over variabele vuurbelastingen.

Paragraaf 3.4.1 bevat dezelfde uitgebreide lijst met waarden voor de gemiddelde variabele vuurbelasting van diverse bestemming als Appendix 1 van de Design Guide Structural Fire Safety (Fire Load Density, 1986). Ook de aanbevelingen hoe uit deze gemiddelde waarden fractielwaarden berekend kunnen worden zijn gelijk. Ten slotte wordt aangegeven voorzichtig om te gaan met de gegeven data, aangezien de vuurlast in de loop der tijd veranderd kan zijn door het gebruik van nieuwe technieken en materialen.

In paragraaf 3.4.2 worden gemiddelde waarden en 80%-, 90%- en 95%-fractielwaarden voor de variabele vuurbelasting van verschillende gebouwtypen gegeven. Deze data is eveneens gebaseerd op de Design Guide Structu-

<sup>3</sup> In de publicatie wordt "variatioecoëfficiënt" geschreven, hier wordt "standaarddeviatie" bedoeld. De variatioecoëfficiënt is gedefinieerd als een percentage van de gemiddelde waarde en is dus, in tegenstelling tot de standaarddeviatie, een relatieve grootte.

ral Fire Safety. Veel uit de Design Guide Structural Fire Safety overgenomen waarden komen voor wat betreft de gemiddelde waarde en de 80%-fractielwaarde overeen met één Europees onderzoek (Bryl, 1975, in: Fire Load Density, 1986)). De 90%- en 95%-fractielwaarden zijn veelal lager.

De gegeven waarden voor de variabele vuurbelasting per gebouwtype uit de International Fire Engineering Guidelines zijn opgenomen in tabel A.1 in bijlage A bij dit rapport. In de publicatie wordt aangeraden om bij berekeningen minimaal van de 95%-fractielwaarden uit te gaan.

### **Natuurlijk Brandconcept (2001)**

Het rapport Natuurlijk Brandconcept bevat de belangrijkste onderdelen van het eindrapport van het in Europees verband uitgevoerde onderzoek 'Natural Fire Safety Concept'.

In tabel 4.2 van het rapport worden waarden voor de vuurbelasting gegeven voor diverse gebouwtypen. Voor elk gebouwtype zijn de gemiddelde vuurbelasting, de standaarddeviatie en de 80%-, 90%- en 95%-fractielwaarden gegeven.

De begeleidende tekst suggereert dat de genoemde waarden de totale vuurbelasting betreffen. In het programma OZone, dat naar aanleiding van dit onderzoeksproject ontwikkeld is, wordt bij selectie van een 'NFSC Design Fire' ook uitgegaan van de vuurbelastingen van tabel 4.2 van het Natuurlijk Brandconcept (80%-fractielwaarden).

Bij de in tabel 4.2 van het Natuurlijk Brandconcept genoemde vuurbelastingen wordt voor de herkomst van de data echter verwezen naar het CIB W14 Workshop Report uit 1983, waar alleen sprake is van variabele vuurbelastingen. De gemiddelde waarden volgens het Natuurlijk Brandconcept komen tevens overeen met de gemiddelde waarden genoemd in de publicatie International Fire Engineering Guidelines, waar duidelijk vermeld wordt dat het om de variabele vuurbelasting gaat.

Voor de berekening van de fractielwaarden is in het Natuurlijk Brandconcept niet uitgegaan van de standaarddeviaties van de oorspronkelijke, onderliggende onderzoeken, maar is bij alle functies uitgegaan van een standaarddeviatie van 0,3 maal de gemiddelde vuurbelasting. Dit levert voor woonfunctie hogere fractielwaarden op; voor alle andere functies lagere fractielwaarden.

De in het Natuurlijk Brandconcept gegeven data is opgenomen in tabel A.1 in bijlage A bij dit rapport.

### **NEN 6090:2006**

NEN 6090:2006 geeft in de informatieve bijlage B kengetallen voor de variabele vuurbelasting van een aantal gebouwtypen (NEN 6090 spreekt van categorieën). Hierbij wordt niet vermeld of het om gemiddelde waarden of fractielwaarden gaat; er wordt ook geen referentie gegeven. De waarden komen vrijwel alle overeen met de 80%-fractielwaarden uit het Natuurlijk Brandconcept (2001) afgerond op 50 MJ/m<sup>2</sup>.

De kengetallen voor de variabele vuurbelasting uit NEN 6090 zijn in tabel A.1 in bijlage A opgenomen bij de 80%-fractielwaarden.

**DD 240-1:1997**

De Britse norm DD 240-1:1997 (inmiddels vervangen door BS7974:2001) geeft in tabel 7 gemiddelde waarden en 80%-, 90%- en 95%-fractiel-waarden voor de variabele vuurbelasting van enkele veel voorkomende gebouwtypen. Voor de herkomst wordt verwezen naar de CIB W14 Workshop uit 1983. De gegeven waarden komen overeen met die in de publicatie International Fire Engineering Guidelines (2005).

De waarden voor de variabele vuurbelasting uit DD 240-1 zijn opgenomen in tabel A.1 in bijlage A bij dit rapport.

**1.1.3 Evaluatie**

- De diverse publicaties verwijzen voor de herkomst van de genoemde waarden voor de vuurbelasting naar dezelfde onderzoeken, namelijk de onderzoeken die beschreven staan in Appendix 1 van de Design Guide Structural Fire Safety (Fire Load Density, 1986). Desondanks bestaan er tussen de verschillende publicaties aanzienlijke verschillen, met name voor wat betreft de fractiel-waarden. Deze verschillen kunnen niet worden verklaard.
- De data over de variabele vuurbelasting is vaak het resultaat van onderzoek dat vele jaren terug is uitgevoerd (30 tot 40 jaar geleden). Het is de vraag of dergelijke gegevens vandaag de dag nog gebruikt kunnen worden voor een realistische inschatting van de variabele vuurbelasting. Door de introductie van nieuwe technieken en materialen kan de aanwezige vuurlast in gebouwen aanzienlijk gewijzigd zijn. In de publicatie International Fire Engineering Guidelines wordt ook aangegeven voorzichtig om te gaan met de resultaten van onderzoeken die vele jaren geleden zijn uitgevoerd. Desondanks wordt deze gegevens ook in recente publicaties nog gehanteerd; nieuwere gegevens zijn (blijkbaar) niet beschikbaar.

**1.1.4 Variabele vuurbelasting in het Fysisch brandmodel**

Voor het Fysisch brandmodel kan een inschatting van de variabele vuurbelasting gemaakt worden via de deterministische of de statistische benadering. Beide opties kunnen opgenomen worden, zodat de gebruiker kan kiezen welke benadering hij gebruikt.

Uit de voorgaande discussie blijkt dat er onzekerheid bestaat ten aanzien van de betrouwbaarheid van de statistische gegevens van de variabele vuurbelasting. Een manier om dit probleem op te lossen is om in Nederland een nieuwe, uitgebreide, actuele database met gegevens van de variabele vuurbelasting aan te leggen op basis van nieuwe onderzoeken. Dit is echter een zeer kostbare en tijdrovende aangelegenheid. Vooralsnog wordt er vanuit gegaan dat een nieuwe database aanleggen niet haalbaar is, zodat de volgende twee methoden over blijven voor het bepalen van de variabele vuurbelasting:

- een projectspecifieke deterministische benadering;
- een statistische benadering op basis van bestaande statistische gegevens.

Gezien de onzekerheden ten aanzien van de statistische gegevens wordt aangeraden om waar mogelijk gebruik te maken van een projectspecifieke deterministische benadering. Hierbij wordt een berekening van de variabele vuurbelasting gemaakt op basis van het werkelijke ontwerp.

In gevallen waarin het niet mogelijk is een deterministische benadering toe te passen, moet uitgegaan worden van de beschikbare statistische gegevens. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van gegevens uit de eerder behandelde publicaties. Om aansluiting te vinden met de regelgeving is het gewenst zoveel mogelijk een onderverdeling in gebruiksfuncties aan te houden gelijk aan het Bouwbesluit.

Voorgesteld wordt de data van de oorspronkelijke onderzoeken te hanteren (Fire Load Density, 1986). Bij een indeling in gebruiksfuncties volgens het Bouwbesluit betekent dit dat uitgegaan kan worden van de data genoemd in de International Fire Engineering Guidelines (2005), tabel 3.4.1b.

Het gebruiken van de gemiddelde waarde in een berekening geeft een te gunstige inschatting. In de helft van de gevallen is de vuurbelasting immers hoger. In berekeningen moet dus met een fractiel-waarde gerekend worden. Gezien de nauwkeurigheid en de ouderdom van de waarden voor de vuurbelasting is het niet zinvol om met 95%-fractiel-waarden te rekenen. In navolging van wat landelijk (NEN 6090) en Europees (OZone, gebaseerd op Natuurlijk Brandconcept) gebruikelijk is, wordt geadviseerd om bij berekeningen 80%-fractiel-waarden te hanteren. Voor de berekening van de fractiel-waarden kan gebruik gemaakt worden van de standaarddeviaties van de oorspronkelijke onderzoeken. In de laatste twee kolommen van tabel A.1 in bijlage A zijn zoveel mogelijk waarden voorgesteld voor de gemiddelde waarde en de 80%-fractiel-waarde voor de gebruiksfuncties van het Bouwbesluit.

Niet voor alle gebruiksfuncties zijn richtwaarden gegeven in tabel A.1. Voor de gebruiksfuncties bijeenkomstfunctie, industrie functie, winkelfunctie en overige gebruiksfunctie is dit een gevolg van het feit dat er binnen de gebruiksfunctie voor diverse typen gebouwen een grote spreiding bestaat voor de aanwezige variabele vuurbelasting, waardoor het niet zinvol is algemeen geldige waarden voor de gebruiksfunctie te geven. Daarnaast zijn voor enkele gebruiksfuncties geen statistische gegevens beschikbaar (celfunctie, sportfunctie).

In tabel A.2 in bijlage A zijn voor diverse gebruiksfuncties gemiddelde waarden en/of fractiel-waarden opgenomen voor de variabele vuurbelasting van enkele typen veelvoorkomende bestemmingen. De gemiddelde waarden moeten voor gebruik in berekeningen nog omgerekend worden naar fractiel-waarden (zie aanbevelingen voor omrekenen in §1.1.2 onder Design Guide Structural Fire Safety, Appendix 1 Fire Load Density).

Voor industriegebouwen wordt verwezen naar tabel A1.3.6 in Fire Load Density (1986) en de publicatie Vuurbelastingen in industriegebouwen (1997) van NIBRA. In de laatstgenoemde publicatie zijn kengetallen opgenomen onderverdeeld in productiegebouwen (kengetal vuurbelasting gegeven in MJ/m<sup>2</sup>) en opslaggebouwen (kengetal vuurbelasting gegeven in MJ/m<sup>3</sup> opslag). Bij elk kengetal wordt een korte omschrijving gegeven van het type gebouw, soms toegelicht met een foto.

Voor gebruiksfuncties of bestemmingen waarvoor geen richtwaarden gegeven zijn in de tabellen A.1 of A.2 kan mogelijk gebruik gemaakt worden van de uitgebreide lijst met gemiddelde waarden voor de variabele vuurbelasting in Fire Load Density (1986), tabel A1.3.13. Deze gegevens zijn overgenomen in tabel A.3 bij dit rapport. De gemiddelde waarden uit deze tabel moeten voor gebruik in berekeningen nog omgerekend worden naar fractiel-waarden (zie aanbevelingen bij tabel A.3 (overgenomen uit Fire Load Density (1986)).

## 1.2 Branduitbreidingsnelheid

### 1.2.1 Inleiding

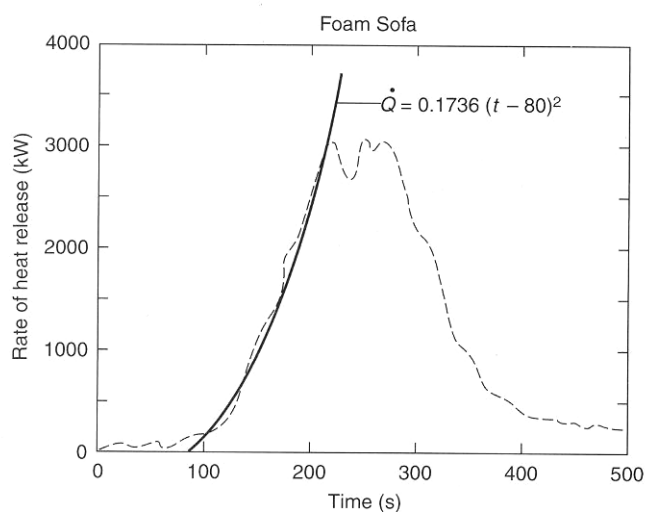
De branduitbreidingsnelheid is een grootheid die een rol speelt in de pre-flash-over fase. In deze fase is sprake van een lokale brandhaard, die zich in omvang en vermogen in de tijd verder ontwikkelt.

Uit onderzoek is gebleken dat de ontwikkeling van het brandvermogen in een brandruimte, na een eventuele incubatietijd, in veel gevallen kwadratisch verloopt (Drysdale, 2002, pp.323). Het brandvermogen kan dan beschreven worden met:

$$\dot{Q} = \left( \frac{t - t_0}{t_c} \right)^2 \quad (1.3)$$

waarin:  $\dot{Q}$  = brandvermogen [MW]  
 $t$  = tijd sinds ontbranding [s]  
 $t_0$  = incubatietijd [s]  
 $t_c$  = tijdconstante voor branduitbreiding tot 1 MW [s]

De incubatietijd is de smeulfase vanaf de ontsteking tot het moment dat de brand zich echt begint te ontwikkelen (zie figuur 1.1 en Van Herpen en Voogd (2006), figuur 1.2).



Figuur 1.1: ontwikkeling van het brandvermogen voor een stoel (Alpert, 2002)

De incubatietijd is afhankelijk van verschillende aspecten (onder andere de ontstekingsbron en de eigenschappen en locatie van het eerst brandende object) en is moeilijk te bepalen. Voor de beschrijving van de ontwikkeling van het brandvermogen na de incubatietijd is de lengte van deze incubatietijd echter ook niet relevant. Voor het beschrijven van het brandvermogen na de incubatietijd kan vergelijking (1.3) vereenvoudigd worden tot:

$$\dot{Q} = \left( \frac{t}{t_c} \right)^2 \quad (1.4)$$

waarin:  $t_c$  = tijd sinds einde incubatietijd [s]

Zolang een brand brandstofbeheerst is, de maximale brandomvang niet bereikt is en er geen repressie plaatsvindt, zal het vermogen zich kwadratisch blijven ontwikkelen. In het fysisch brandmodel zal voor dit stadium ook standaard uitgegaan worden van een brandontwikkeling conform vergelijking (2).

De tijdconstante voor branduitbreiding ( $t_c$ ) geeft de tijd totdat een brand zich ontwikkeld heeft tot een vermogen van 1 MW. Deze tijdconstante is afhankelijk van de brandstof die in de ruimte aanwezig is. In verschillende publicaties zijn kengetallen gegeven voor de tijdconstante voor branduitbreiding.

In de volgende paragraaf zullen de gegeven waarden voor  $t_c$  uit verschillende publicaties behandeld worden. Na een korte discussie van deze gegevens wordt ingegaan op de branduitbreidingssnelheid die in het Fysisch brandmodel kan worden gehanteerd.

## 1.2.2 Literatuuronderzoek tijdconstante voor branduitbreiding

### NEN-EN 1991-1-2:2002

De Eurocode 1 deel 1-2 bevat een informatieve bijlage (bijlage E) waarin diverse parameterwaarden (zoals vuurlast, branduitbreidingssnelheid en veiligheidsfactoren) voorgesteld worden. Per land kan deze bijlage aangepast worden, indien er op nationaal niveau door cultuur bepaalde verschillen met de Europese waarden verwacht worden. Voor de Nederlandse bijlage zullen deze parameterwaarden uitgangspunten zijn voor het project Fysisch Brandmodel. Op dit moment bevat bijlage E nog door de CEN (European Committee for Standardization) voorgestelde waarden.

Voor de branduitbreidingssnelheid onderscheidt de norm vier verschillende snelheden: traag ( $t_c = 600$  s), matig ( $t_c = 300$  s), snel ( $t_c = 150$  s) en ultra snel ( $t_c = 75$  s). Voor enkele veel voorkomende gebouwtypen zijn waarden voor  $t_c$  gegeven (geen referentie voor herkomst van de waarden), zie tabel 1.1.

Tabel 1.1: tijdconstanten voor enkel veel voorkomende gebouwtypen (NEN-EN 1991-1-2)

categorie	$t_c$ [s]	gebouwtype/gebruik
traag	600	transportgebouw (publieke ruimte)
matig	300	woning
		ziekenhuis (kamer)
		kantoor
		hotel (kamer)
		school (klaslokaal)
snel	150	winkelcentrum
		theater (bioscoop)
		bibliotheek
ultra snel	75	-

De in tabel 1.1 genoemde waarden zijn ook opgenomen in tabel B.1 in bijlage B bij dit rapport.

### Natuurlijk Brandconcept (2001)

Het rapport Natuurlijk Brandconcept bevat de belangrijkste onderdelen van het eindrapport van het in Europees verband uitgevoerde onderzoek 'Natural Fire Safety Concept'.

In tabel 4.3 en figuur 4.4 van het rapport worden waarden voor de tijdconstante gegeven voor diverse gebouwtypen (geen referentie voor herkomst van de waarden). Tabel 1.2 hieronder geeft de verschillende categorieën, tijdconstanten, gebouwtypen en omschrijvingen van een typisch scenario behorend bij een bepaalde branduitbreidingsnelheid.

*Tabel 1.2: tijdconstante, gebouwtype en typisch scenario (Natuurlijk Brandconcept, 2001)*

categorie	$t_c$ [s]	gebouwtype/gebruik	typisch scenario
traag	600	museum (schilderijen) opslaggebouw (slecht brandbare materialen)	plaatselijke vuurbelasting
matig	300	woning kantoor hotel (receptie) hotel (kamer) opslaggebouw (katoen, polyester, veren)	katoen, polyester, veren matrassen
snel	150	winkel opslaggebouw (posterijen, kunststofschuim,	volle postzakken, kunststofschuim, gestapeld hout, pallets
ultra snel	75	chemische fabriek opslaggebouw (alcohol, gestoffeerde meubelen)	methyl alcohol, vloeistof brand, gestoffeerde meubelen

De in het Natuurlijk Brandconcept gegeven tijdconstanten en gebouwtypen zijn ook opgenomen in tabel B.1 in bijlage B bij dit rapport.

### ISO/TR 13387-2:1999

ISO/TR 13387 is een internationale norm bestaande uit acht delen met als overkoepelend onderwerp 'fire safety engineering'. ISO/TR 13387-2 is het tweede deel en behandelt ontwerp brandscenario's en ontwerpbranden. De norm onderscheidt dezelfde vier branduitbreidingsnelheden als NEN-EN 1991-1-2 en het Natuurlijk Brandconcept (2001).

In de informatieve bijlage A bij de norm zijn enkele typische scenario's gegeven bij de verschillende categorieën van de branduitbreidingsnelheid. Deze waarden zijn hieronder opgenomen in tabel 1.3.

*Tabel 1.3: tijdconstante en typisch scenario (ISO/TR 13387-2)*

categorie	$t_c$ [s]	typisch scenario
traag	600	floor coverings
matig	300	shop counters office furniture – horizontally distributed
snel	150	bedding displays and padded work-station partitioning
ultra snel	75	cardboard or plastic boxes in vertical storage arrangement non-fire-retarded plastic foam storage lightweight furnishings upholstered furniture and stacked furniture near combustible linings

### Richtlijn Vultijdenmodel Grote Brandcompartimenten (Van Oerle et al., 1996)

De Richtlijn Vultijdenmodel Grote Brandcompartimenten maakt onderscheid in brand in een aangrenzende ruimte en brand in de ruimte zelf.

Voor brand in een aangrenzende ruimte wordt voor twee functies een tijdconstante gegeven:

- kantoorfunctie:  $t_c = 300$  s;
- winkelfunctie:  $t_c = 150$  s.

Voor brand in de ruimte zelf worden vier verschillende klassen gedefinieerd:

- Klasse I: niet industriegebouw én vuurbelasting  $\leq 152$  MJ/m<sup>2</sup>;
- Klasse II: niet industriegebouw én vuurbelasting  $> 152$  MJ/m<sup>2</sup> én vuurbelasting is geconcentreerd in een zone van maximaal 3 m boven de vloer;
- Klasse III: niet industriegebouw én past niet in klasse I of klasse II, óf industriegebouwen met opslagfunctie;
- Klasse IV: industriegebouwen met productiefunctie.

Bij klasse I (langzame brandontwikkeling) hoort een tijdconstante van 600 s. Gebouwfuncties die in deze klasse vallen zijn bijvoorbeeld stationsgebouwen of sportgebouwen (Van Oerle et al., 1996).

Klasse II heeft een tijdconstante van 150 s en geldt voor snel ontwikkelende branden.

Voor industriegebouwen met opslagfunctie worden in klasse III vier subklassen gedefinieerd op basis van de brandbaarheid van de goederen en de verpakking (zie Van Oerle et al., 1996, pp. 20 e.v.). De tijdconstante kan variëren van 75 tot 600 s.

Bij klasse IV, industriegebouwen met productiefunctie, zijn subklassen gegeven in een tabel (zie Van Oerle et al., 1996, pp. 22 e.v.). De tijdconstante kan variëren van 150 tot 600 s.

### Overige literatuur

In belangrijke literatuur op het gebied van fire safety engineering wordt eveneens onderscheidt gemaakt in vier categorieën voor de branduitbreidingssnelheid (Alpert, 2002; Drysdale, 2002). Het brandvermogen wordt in deze publicaties gedefinieerd als:

$$\dot{Q} = \alpha(t - t_0)^2 \quad (1.5)$$

waarin:  $\dot{Q}$  = brandvermogen [kW]  
 $\alpha$  = branduitbreidingscoëfficiënt [kW/s<sup>2</sup>]

Tabel 1.4 geeft de verschillende categorieën, coëfficiënten en omschrijvingen van een typisch scenario.



Tabel 1.4: parameterwaarden voor kwadratisch ontwikkelende branden (naar: Drysdale, 2002)

categorie	$\alpha$ [kW/s <sup>2</sup> ]	typisch scenario
traag	0,00293	dicht opeengepakte papierproducten
matig	0,01172	traditionele matras, traditionele fauteuil
snel	0,0469	PU-matras (horizontaal), PE-pallets (1 m hoog gestapeld)
ultra snel	0,1876	hoge stellingopslag PE hardschuim, 5 m hoog gestapeld

De waarden voor  $\alpha$  uit tabel 1.4 worden ook genoemd in de Amerikaanse norm NFPA 72<sup>®</sup> National Fire Alarm Code (Alpert, 2002). Omgerekend naar de formulering van het brandvermogen volgens vergelijking (1.3) komen deze waarden overeen met de volgende tijdconstanten:  $t_c = 584$  s (traag),  $t_c = 292$  s (matig),  $t_c = 146$  s (snel) en  $t_c = 73$  s (ultra snel).

### 1.2.3 Evaluatie

In alle publicaties worden vier branduitbreidingssnelheden voor de ontwikkeling van het brandvermogen onderscheiden. Bij deze vier categorieën horen tijdconstanten  $t_c$  variërend van traag ( $t_c = 600$  s), matig ( $t_c = 300$  s), snel ( $t_c = 150$  s) tot ultra snel ( $t_c = 75$  s). Ook in de wetenschappelijke literatuur worden vier branduitbreidingssnelheden genoemd, met een branduitbreidingscoëfficiënt  $\alpha$ , die omgerekend vrijwel overeenkomt met bovengenoemde tijdconstanten. In werkelijkheid zullen ook tussengelegen branduitbreidingssnelheden voorkomen (continue verdeling). Het feit dat een zeer grove indeling gemaakt wordt met slechts vier categorieën, geeft al aan dat weinig nauwkeurige gegevens bekend zijn.

In sommige publicaties wordt de branduitbreidingssnelheid gekoppeld aan bouwtypen. Vanwege spreiding in branduitbreidingssnelheden binnen bouwtypen is dit echter slechts voor een beperkt aantal bouwtypen mogelijk. Andere publicaties geven alleen voorbeelden van typische scenario's die bij een bepaalde branduitbreidingssnelheid horen.

### 1.2.4 Branduitbreidingssnelheid in het Fysisch brandmodel

Bij het fysisch brandmodel moet voor elke berekening een branduitbreidingssnelheid gekozen worden. In tabel B.1 in bijlage B zijn voor zoveel mogelijk gebruiksfuncties tijdconstanten voorgesteld. Wanneer het niet mogelijk is een tijdconstante te kiezen op basis van tabel B.1 zal een schatting gemaakt moeten worden van de branduitbreidingssnelheid. Hiervoor kan gebruik gemaakt worden van de in diverse publicaties omschreven typische scenario's (zie bijvoorbeeld de tabellen 1.2 en 1.3).

## 1.3 Referentievermogensdichtheden

### 1.3.1 Inleiding

De referentie vermogensdichtheid is een grootheid die een rol speelt in de post-flash-over fase. In deze fase is sprake van een compartimentsbrand. Het brandstofbeheerste brandvermogen wordt bepaald door de vloeroppervlakte en de referentie vermogensdichtheid:

$$\dot{Q} = A_{fi} \cdot RHR_{fi} \quad (1.6)$$

waarin:  $A_{fi}$  = maximale brandoppervlakte [ $m^2$ ]  
 $RHR_{fi}$  = referentie vermogensdichtheid [ $MW/m^2$ ]

Vaak zal in deze fase de brand ventilatiebeheerst zijn en het brandvermogen daardoor gereduceerd worden (Van Herpen en Voogd; 2006).

### 1.3.2 Literatuuronderzoek referentie vermogensdichtheid

#### **NEN-EN 1991-1-2:2002**

In de informatieve bijlage E van normblad NEN-EN 1991-1-2:2002 worden voor diverse gebouwtypen referentie vermogensdichtheden gegeven. Feitelijk komen er maar twee verschillende waarden voor, zie tabel 1.5

Tabel 1.5: referentie vermogensdichtheden volgens NEN-EN 1991-1-2

categorie	$RHR$ [ $kW/m^2$ ]	gebouwtype/gebruik
normaal	250	woning
		kantoor
		ziekenhuis (kamer)
		hotel (kamer)
		school (klaslokaal)
		winkelcentrum
		transportgebouw (publieke ruimte)
hoog	500	bibliotheek
		theater (bioscoop)

De in tabel 1.5 genoemde waarden zijn ook opgenomen in tabel C.1 in bijlage C bij dit rapport.

#### **Natuurlijk Brandconcept (2001)**

Het rapport Natuurlijk Brandconcept bevat de belangrijkste onderdelen van het eindrapport van het in Europees verband uitgevoerde onderzoek 'Natural Fire Safety Concept'.

Ten opzichte van tabel 1.5 wordt in de tekst van dit rapport (dus niet in de tabellen) een gebouwtype toegevoegd aan de categorie 'hoge referentievermogensdichtheid' ( $500 \text{ kW/m}^2$ ), namelijk een gebouw voor detailhandel (winkel-functie).

**Richtlijn Vultijdenmodel Grote Brandcompartimenten (Van Oerle et al., 1996)**

De Richtlijn Vultijdenmodel Grote Brandcompartimenten maakt onderscheidt in brand in een aangrenzende ruimte en brand in de ruimte zelf.

Voor brand in een aangrenzende ruimte wordt voor twee functies een referentie vermogensdichtheid gegeven:

- kantoorfunctie:  $RHR = 300 \text{ kW}$ ;
- winkelfunctie:  $RHR = 500 \text{ kW}$ .

Voor brand in de ruimte zelf worden vier verschillende klassen gedefinieerd:

- Klasse I: niet industriegebouw én vuurbelasting  $\leq 152 \text{ MJ/m}^2$ ;
- Klasse II: niet industriegebouw én vuurbelasting  $> 152 \text{ MJ/m}^2$  én vuurbelasting is geconcentreerd in een zone van maximaal 3 m boven de vloer;
- Klasse III: niet industriegebouw én past niet in klasse I of klasse II, óf industriegebouwen met opslagfunctie;
- Klasse IV: industriegebouwen met productiefunctie.

Bij klasse I wordt een referentie vermogensdichtheid gehanteerd van  $200 \text{ kW/m}^2$ . Bij de overige klassen wordt een referentie vermogensdichtheid gehanteerd van  $500 \text{ kW/m}^2$  per m vuurlasthoogte.

**Overige literatuur**

In het Brandbeveiligingsconcept Beheersbaarheid van brand (Ministerie van Binnenlandse zaken, 1995) wordt bij industriefuncties met een zeer hoge vuurbelasting ( $> 5700 \text{ MJ/m}^2$ ) een lage afbrandsnelheid mogelijk geacht. Onder een lage afbrandsnelheid wordt in dit verband een referentie vermogensdichtheid van circa  $100 \text{ kW/m}^2$  verstaan. Wanneer van deze lage afbrandsnelheid mag worden uitgegaan is in het brandbeveiligingsconcept niet expliciet aangegeven.

Het gaat hier feitelijk om een brandstofbeheerste vermogensdichtheid, die door de aard van de brandstof (dichte pakking met weinig lucht in de brandstof en daarnaast vrijwel geen luchttoetreding mogelijk) tot een lage afbrandsnelheid wordt gereduceerd.

Om welke brandstoffen of opslagfuncties het gaat wordt hierbij niet aangegeven. Te denken valt aan bulkopslag met kleine korrelgrootte, bijvoorbeeld bulkopslag van cacao.

**1.3.3 Evaluatie**

De referentie vermogensdichtheden die genoemd worden in het Richtlijn Vultijdenmodel Grote Brandcompartimenten wijken af van de overige literatuur. Met name voor rekopslagen in industriegebouwen zijn de referentie vermogensdichtheden van het vultijdenmodel bruikbaar, voor de overige functies wordt voorgesteld de waarden uit de overige literatuur aan te houden.

Dit leidt tot de volgende klassering van referentie vermogensdichtheden:

- Laag ( $100 \text{ kW/m}^2$ ), voor fijnkorrelige bulkopslag met een hoge vuurbelasting ( $> 5700 \text{ MJ/m}^2$ )

- Laag tot middel (200 kW/m<sup>2</sup>), voor niet-industriefuncties met een zeer lage vuurbelasting (< 152 MJ/m<sup>2</sup>)
- Normaal (250 kW/m<sup>2</sup>), voor de meeste gebruiksfuncties
- Hoog (500 kW/m<sup>2</sup>), voor meer brandgevaarlijke gebruiksfuncties
- Zeer hoog (veelvoud van 500 kW/m<sup>2</sup>), voor industriefunctie met rekopslag, afhankelijk van de opslaghoogte.

#### 1.3.4 Referentie vermogensdichtheid in het Fysisch brandmodel

Bij het fysisch brandmodel moet voor elke berekening een referentie vermogensdichtheid gekozen worden. In tabel C.1 in bijlage C zijn voor zoveel mogelijk gebruiksfuncties referentie vermogensdichtheden voorgesteld.

## Hoofdstuk 2 Probabilistische aspecten

### 2.1 Inleiding

Het zal duidelijk zijn dat de kans op het ontstaan van brand in een zwembad geringer is dan de kans op het ontstaan van brand in een verffabriek. Daarnaast zal de kans dat zo'n beginnende brand zich uitbreidt en leidt tot een volledig ontwikkelde brand, afhangen van de bouwkundige situatie, het gebruik van het gebouw en de eventueel aanwezige actieve brandbeveiligingsmaatregelen zoals sprinklers, automatische detectie (op basis van temperatuur of rookdichtheid), automatische doormelding naar de alarmcentrale van de brandweer en het optreden van de brandweer zelf.

In het kader van het Natuurlijk Brandconcept (2001) is statistische informatie verzameld en zijn kansen afgeleid met betrekking tot:

- het ontstaan van brand
- het falen van pogingen door de aanwezigen om de brand te blussen
- het falen van actieve maatregelen (sprinklerinstallaties, brandmeldinstallaties, etc.) om de brand te beheersen
- het falen van pogingen door de brandweer tot beheersing van brand

Het statistisch onderzoek is gebaseerd op informatie uit:

- Zwitserland: gedetailleerde informatie over en analyse van alle branden (ca. 40.000) met een schade groter dan 1 MCHF in Bern over de periode van 1986 tot 1996;
- Frankrijk: branden in industriële gebouwen over een periode tussen januari 1983 tot februari 1984, alsmede alle brandweerinventies in het jaar 1995 (d.w.z. 3.253.855 interventies, waarvan 312.910 in verband met branden);
- Nederland: branden in industriële gebouwen over de periode tussen januari 1983 tot januari 1985;
- Finland: alle branden in gebouwen in het jaar 1995 (d.w.z. 2.109 branden op een totaal aantal van 1.150.494 gebouwen);
- rapporten van de Luxemburgse brandweer over de jaren 1995 en 1997,

Daarnaast is het onderzoek gebaseerd op internationale gegevens uit verschillende bronnen, met betrekking tot verschillende aspecten van de brandveiligheid, met name echter op het gebied van sprinklers. Zo is systematische informatie met betrekking tot sprinklers verzameld uit de Verenigde Staten, Finland, Duitsland, Frankrijk, Australië en het Verenigd Koninkrijk.

De algemene risico-benadering op basis van scenario's is geschetst in de navolgende paragraaf.

De risico-benadering op basis van volgens de methodiek van NEN-EN 1990:2002 is weergegeven in hoofdstuk 3. Hierin worden geen afzonderlijke scenario's beschouwd, maar wordt, afhankelijk van compartimentsgrootte, gebruiksfunctie en voorzieningenniveau, een risicofactor op de vuurbelasting gedefinieerd.

## 2.2 Risico-analyse

### 2.2.1 Kans en effect

Risico kan worden gedefinieerd als het product van de kans op het optreden van een incident en het effect dat hiervan het gevolg is:

$$\begin{aligned} \text{kans} \cdot \text{effect} &= \text{risico} \\ \text{kans} \cdot \text{effect} &\leq \text{toelaatbaar risico} \end{aligned} \quad (2.1)$$

Wanneer het een schade-effect betreft wordt dit vaak uitgedrukt in kosten. Wanneer het een veiligheidseffect betreft wordt dit vaak uitgedrukt in (lethale) slachtoffers. Uiteraard zijn er meer maten waarin het effect kan worden uitgedrukt.

Om aan de grenswaarde voor het toelaatbaar risico te kunnen voldoen moet het product van kans en effect voldoende klein zijn. Bij een incident met een kleine kans kan daardoor een relatief groot effect worden toegestaan. Bij een incident met een klein effect kan zo een relatief grote kans worden toegestaan.

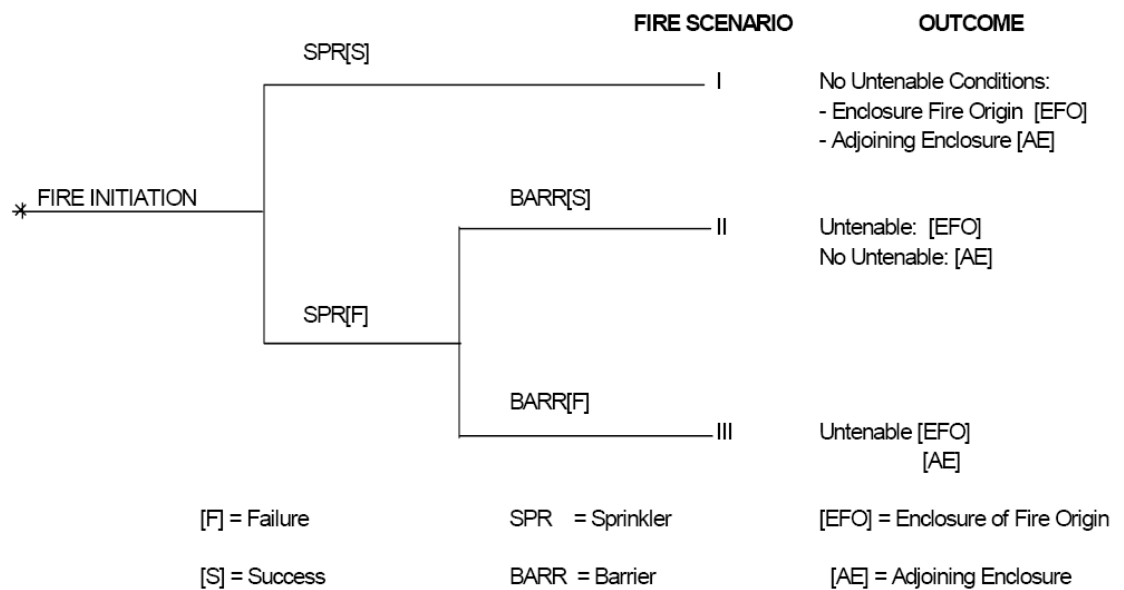
### 2.2.2 Scenario's

Incidenten bestaan zelden uit enkelvoudige gebeurtenissen, maar zijn een aaneenschakeling van gebeurtenissen. Een dergelijke aaneenschakeling wordt een scenario genoemd. In figuur 2.1 is een eenvoudige gebeurtenissenboom voor een brandbeheersingssysteem weergegeven, bestaande uit sprinklers en bouwkundige compartimentering. Hierin worden drie scenario's onderscheiden:

- I. De sprinklerinstallatie is succesvol en beheerst de brand;
- II. De sprinklerinstallatie faalt, de bouwkundige compartimentering is wel succesvol;
- III. De sprinklerinstallatie faalt en de bouwkundige compartimentering faalt.

Natuurlijk zijn ook veel uitgebreidere gebeurtenissenbomen op te stellen, waarin bijvoorbeeld detectie, melding en de brandweerinzet zijn opgenomen. Dit leidt tot meer scenario's.

Uitbreiding van gebeurtenissenbomen en scenario's is alleen zinvol indien de statistische gegevens voldoende gedifferentieerd zijn. Alleen dan kan aan elk scenario een risico worden toegekend (zie 2.2.3). Uiteindelijk zal het scenario met het grootste risico aan de vooraf gedefinieerde grenswaarde moeten voldoen.



Figuur 2.1: Eenvoudige gebeurtenissenboom van mogelijke incidenten voor een brandbeheersingssysteem bestaande uit sprinklers (SPR) en bouwkundige brandscheidingen (BARR) (International Fire Engineering Guidelines, 2005).

## 2.2.3 Analyse

### Kansen

Bij elk scenario in de gebeurtenissenboom kan de kans van het optreden van dat scenario worden bepaald, wanneer de kansen van de afzonderlijke gebeurtenissen bekend zijn.

In de gebeurtenissenboom van figuur 2.1 zijn twee brandbeheersingsmaatregelen opgenomen en dientengevolge ook twee afzonderlijke kansen te definiëren:

- De faalkans van de sprinklerinstallatie SPR[F]
- De faalkans van de bouwkundige compartimentering BARR[F]

Hieruit volgen automatisch:

- De succeskans van de sprinklerinstallatie  $SPR[S] = 1 - SPR[F]$
- De succeskans van de bouwkundige compartimentering  $BARR[S] = 1 - BARR[F]$

Wanneer van beide voorzieningen de faalkans 0,05 (5 %) bedraagt is de kans op het optreden van de scenario's:

- Scenario I:  $(1-0,05) = 0,95$
- Scenario II:  $(0,05) \times (1-0,05) = 0,0475$
- Scenario III:  $(0,05) \times (0,05) = 0,0025$

De som van de kansen van alle scenario's is uiteraard 1, de scenario's zijn complementair.

### **Effecten en risico's**

In principe kan van elk willekeurig scenario op basis van het voorgaande de kans bepaald worden. Van elk scenario kan op vergelijkbare wijze het effect bepaald worden. Vaak wordt hiervoor geput uit statistische gegevens. Er kan voor de bepaling van het effect echter ook gebruik gemaakt worden van empirische of fysische modellen.

Het veiligheidseffect wordt doorgaans uitgedrukt in (lethale) slachtoffers. Het (materiële) schade-effect wordt in kosten uitgedrukt.

Wanneer effect en kans bekend zijn, is het risico van het betreffende scenario ook bekend. De scenario's met het grootste risico worden maatgevende scenario's genoemd. Het zal duidelijk zijn dat maatgevende veiligheidsscenario's niet per definitie overeenkomen met maatgevende schadescenario's.

De risico-analyse vindt dus plaats nadat zowel de kansen als de effecten van de verschillende scenario's zijn bepaald (International Fire Engineering Guidelines, 2005).



## Hoofdstuk 3 De risicofactor op de vuurbelasting

### 3.1 Kansrekening

Ten behoeve van de nationale annex E bij NEN-EN 1991-1-2:2002 dient het risico van bezwijken van de (hoofd)draagconstructie ten gevolge van een grote brand bepaald te worden. Als effect kan in dit geval het bezwijken van de (hoofd)draagconstructie worden aangemerkt. In de nationale annex E bij NEN-EN 1991-1-2:2002 wordt dit effect niet verder gedifferentieerd.

Als gevolg van deze benadering wordt in plaats van met een toelaatbaar risico met een toelaatbare kans op bezwijken van de (hoofd)draagconstructie gerekend. Deze benadering sluit aan op NEN-EN 1990:2002 (zie ook Natuurlijk Brandconcept, 2001).

Formeel is de toelaatbare kans als volgt gedefinieerd:

$$\text{toelaatbare kans}_{(\text{bezwijken})} \leq \frac{\text{toelaatbaar risico}}{\text{effect}_{(\text{bezwijken})}} \quad (3.1)$$

Er kan nu als volgt worden getoetst aan de toelaatbare kans:

$$\text{kans}_{\text{ernstige brand}} \cdot \text{kans}_{\text{bezwijken constructie bij brand}} \leq \text{toelaatbare kans}_{(\text{bezwijken})}$$

$$p_{fi} \cdot p_{f,fi} \leq p_t \quad (3.2)$$

Hierin is:

- $p_{fi}$  de rekenwaarde van de kans op het ontstaan van brand
- $p_{f,fi}$  de kans op bezwijken van de constructie bij brand
- $p_t$  de toelaatbare kans op bezwijken van de constructie

#### 3.1.1 De kans op brand

De kans op het ontstaan van een ernstige brand ( $p_{fi}$ ) wordt als volgt bepaald:

$$p_{fi} = p_1 \cdot \prod_i (p_i) \cdot A_{fi} \cdot n \quad (3.3)$$

Hierin is:

- $p_{fi}$  de rekenwaarde van de kans op het ontstaan van brand
- $p_1$  de kans op het ontstaan van een ernstige brand, inbegrepen het effect van optreden van aanwezigen en brandweer
- $p_i$  vermenigvuldigingsfactoren (reductiefactoren) van diverse brandveiligheidsmaatregelen
- $A_{fi}$  de oppervlakte van het brandcompartiment
- $n$  de levensduur (in jaren) van het gebouw (nominaal: 55 jaar)

De kans op het ontstaan van een brand en het ontwikkelen tot een ernstige brand ( $p_1$ ), inbegrepen het effect van het optreden van aanwezigen en brandweer is weergegeven in tabel 3.1.

Tabel 3.1: kans op het ontstaan van een ernstige brand (activeringskans)

Gebruik / activiteit	$p_1$ [ $10^{-7}/(\text{m}^2 \cdot \text{jr})$ ]
Kantoorfunctie	2 – 4
Woonfunctie	4 – 9
Industriefunctie	5 – 10

Als normale activeringskans wordt  $p_1 = 4 \cdot 10^{-7} [\text{m}^2 \cdot \text{jr}^{-1}]$  gedefinieerd. Een lage activeringskans is 10 maal zo klein, een hoge activeringskans is 10 maal zo groot en een zeer hoge activeringskans is 100 maal zo hoog. Op deze wijze wordt een vrij grove klassering in activeringskansen bereikt zie tabel 3.2.

Tabel 3.2: activeringskans, klassering

Risicoklasse	$p_1$ [ $10^{-7}/(\text{jaar} \cdot \text{m}^2)$ ]	$p_1/p_{1, \text{normaal}}$
Laag	0,4	$10^{-1}$
Normaal	4	$10^0$
Hoog	40	$10^1$
Zeer hoog	400	$10^2$
Extreem hoog	4000	$10^3$

De vermenigvuldigingsfactoren ( $p_i$ ) in formule (3.3) kunnen worden beschouwd als faalkansen van de diverse brandveiligheidsmaatregelen. Deze zijn weergegeven in tabel 3.3.

Tabel 3.3: vermenigvuldigingsfactoren (reductiefactoren) voor diverse brandveiligheidsmaatregelen

Voorziening	Differentiatie	Factor $p_i$
Sprinkler	Lage kwaliteit (geen kwaliteitsborging)	$\geq 0,05$
	Normaal	0,02
	1 onafhankelijke watertoevoer	$0,02 \times 0,5 = 0,01$
	2 onafhankelijke watertoevoeren	$0,02 \times 0,25 = 0,005$
Detectie	Warmte	0,25
	Rook	0,0625
Automatische doormelding	(naar de brandweer)	0,25
Brandweer	Overheidsbrandweer	0,1
	Bedrijfsbrandweer	0,02

NB.: In de tabel zijn alleen de reductiefactoren opgenomen van voorzieningen voor brandbeheersing. Voorzieningen voor rookbeheersing (zoals een RWA-installatie) zijn niet in de tabel opgenomen, aangezien deze in het algemeen minder thermische consequenties bezitten. Juist deze thermische consequenties zijn van belang wanneer het gaat om het bezwijken van de hoofddragconstructie.

Als referentiesituatie wordt aangehouden:

$p_1 = 4 \cdot 10^{-7} [\text{m}^2 \cdot \text{jr}^{-1}]$	(normale activeringskans)
$A_{fi} = 25 [\text{m}^2]$	(referentie brandoppervlakte)
$n = 55 [\text{jr}]$	(levensduur van het gebouw)

Hieruit volgt:

$$p_{fi} = 5,5 \cdot 10^{-4} \quad (\text{referentie})$$

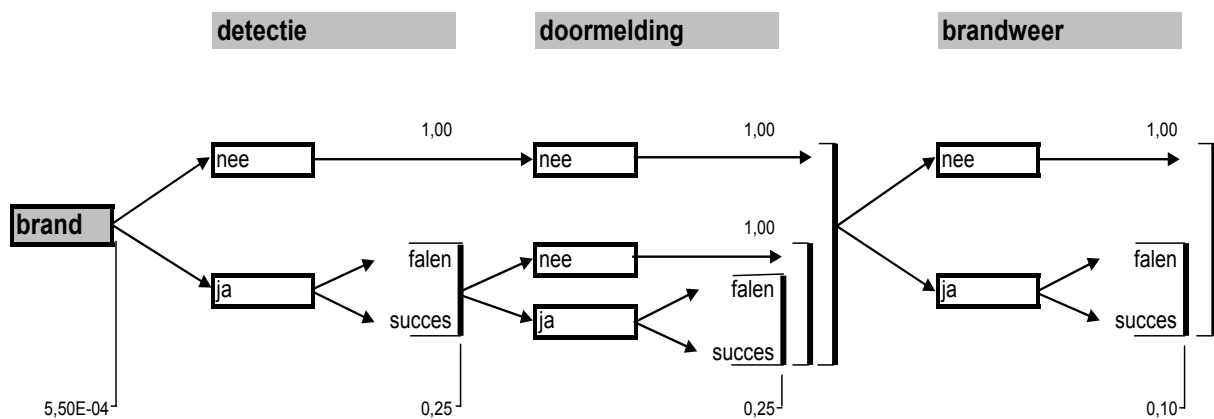
Wanneer de brandruimte is voorzien van branddetectie met automatische doormelding naar de alarmcentrale van de brandweer wordt de kans, op basis van tabel 3.3 gereduceerd tot:

$$p_{fi} = 5,5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,25 \cdot 0,25 \cdot 0,1 = 3,4375 \cdot 10^{-6}$$

Hierin is de reductiefactor ten gevolge van het voorzieningenniveau van de kans op het optreden van een ernstige brand dus:

$$0,25 \cdot 0,25 \cdot 0,1 = 0,00625.$$

Deze reductiefactor kan ook worden gezien als faalkans van het voorzieningenniveau. Onder falen wordt verstaan dat de brand zich alsnog uitgroeit tot volledig ontwikkelde brand (alsof het voorzieningenniveau niet aanwezig is).



Figuur 3.1: Foutenboom, waaruit door aaneenschakeling van faalkansen de kans op een volledig ontwikkelde brand kan worden bepaald. In dit overzicht zijn zowel afhankelijke gebeurtenissen weergegeven (detectie en doormelding), als onafhankelijke gebeurtenissen (brandweer).

Indien wordt uitgegaan van een brandcompartimentsoppervlakte van 1000 m<sup>2</sup> in plaats van de referentie-oppervlakte van 25 m<sup>2</sup> wordt de kans op een volledig ontwikkelde brand in het bovenstaande voorbeeld vergroot tot 1,375 · 10<sup>-4</sup>.

### 3.1.2 De kans op bezwijken van de draagconstructie

Wanneer de toelaatbare kans en de kans op een volledig ontwikkelde brand bekend zijn, geldt voor de kans op bezwijken van de (hoofd)draagconstructie:

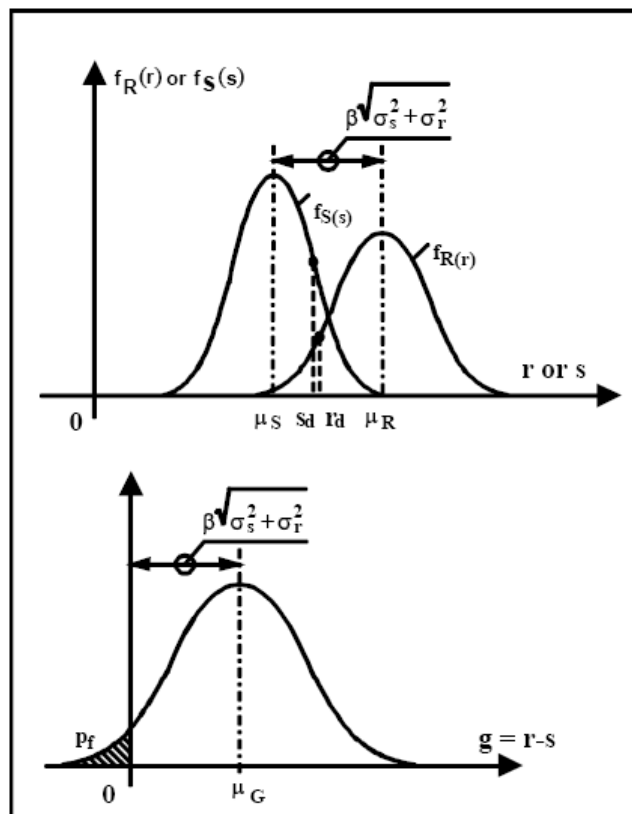
$$p_{f,fi} \leq \frac{p_t}{p_{fi}} \quad (3.4)$$

Onder normale gebruiksomstandigheden wordt in de Eurocodes uitgegaan van een aanvaardbare kans op bezwijken van  $p_t = 7,23 \cdot 10^{-5}$ , betrokken op de economische levensduur van het gebouw (55 jaar). Dit komt overeen met een bezwijkkans van  $p_t = 1,3 \cdot 10^{-6}$  per jaar, conform NEN-EN 1990:2002.

Bezwijken treedt op wanneer het draagvermogen (R) van de constructie ontoereikend is voor de mechanische belasting (S). Dit zijn beide statistische verdelingen, die worden vastgelegd met een gemiddelde ( $m_S$  en  $m_R$ ) en een standaardafwijking ( $\sigma_S$  en  $\sigma_R$ ). Bezwijken ( $S > R$ ) mag slechts met een zeer kleine kans  $p_{f,fi}$  optreden; deze kans wordt weergegeven door het gearceerde oppervlak in figuur 3.2. Een maat voor dit oppervlak is de betrouwbaarheidsindex  $\beta$ . Deze betrouwbaarheidsindex is gedefinieerd als:

$$\beta_{fi,t} = \Phi^{-1} \left( \frac{p_t}{p_{fi}} \right) \tag{3.5}$$

Hierin is  $\Phi^{-1}$  de inverse van de normaal veronderstelde verdelingsfunctie. De aanvaardbare bezwijkkans van  $p_t \leq 7,23 \cdot 10^{-5}$  correspondeert met een betrouwbaarheidsindex van  $\beta \geq 3,8$ .



Figuur 3.2: Kansverdelingen van belasting/draagvermogen en effect

De grenswaarde  $p_t$  leidt onder normale gebruiksomstandigheden tot een vaste waarde voor de betrouwbaarheidsindex  $\beta$ . Bij brandcondities is dit niet het geval, omdat de kans op bezwijken van de constructie daarnaast ook afhangt van de kans op het ontstaan van een grote brand  $p_{fi}$ . Zie formule (3.4).

De bijbehorende betrouwbaarheidsindex  $\beta_{fi,t}$  kan worden gevonden uit de tabellen in bijlage D.

### 3.2 De globale risicofactor

Met de betrouwbaarheidsindex  $\beta_{fi,t}$  worden de bouwkundige en gebruikstechnische eigenschappen van de brandruimte (brandcompartiment) gewaardeerd. Dat geldt ook voor de brandveiligheidsmaatregelen.

In Annex E van NEN-EN 1991-1-2:2002 wordt een risicofactor voorgesteld op de vuurbelasting ( $\gamma_{qf}$ ), die uit de betrouwbaarheidsindex worden bepaald. Daarbij wordt de ontwerpwaarde voor de belasting ( $q_{f,d}$ ), uitgaande van een Gumbel-verdeling, gegeven door NEN-EN 1990:2002:

$$q_{f,d} = 1,05 m_{qf} \left\{ 1 - \frac{\sqrt{6}}{\pi} V_{qf} \left[ 0,577 + \ln(-\ln \phi(0,9\beta_{fi,t})) \right] \right\} \quad (3.6)$$

Hierin is:

- $m_{qf}$  de gemiddelde waarde van de vuurbelasting
- $V_{qf}$  de variatiecoëfficiënt van de vuurbelasting (uitgangspunt:  $V_{qf} = 0,3$ )
- $\Phi$  de kansdichtheidfunctie van een normale verdeling

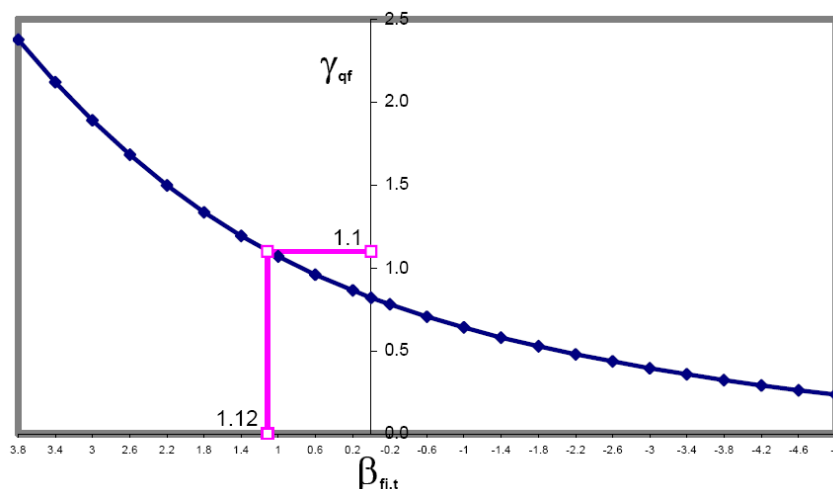
Door een karakteristieke waarde voor de belasting ( $q_{f,k}$ ) te kiezen, corresponderend met een 20% overschrijdingskans (80% fractiel waarde), wordt voor de risicofactor ( $\gamma_{qf}$ ) op de belasting gevonden:

$$\gamma_{qf} = \frac{q_{f,d}}{q_{f,k}} = 1,05 \frac{\left\{ 1 - \frac{\sqrt{6}}{\pi} V_{qf} \left[ 0,577 + \ln(-\ln \phi(0,9\beta_{fi,t})) \right] \right\}}{\left\{ 1 - \frac{\sqrt{6}}{\pi} V_{qf} \left[ 0,577 + \ln(-\ln 0,8) \right] \right\}} \quad (3.7)$$

Bij  $\beta_{fi,t} = 3,8$  leidt dit tot  $\gamma_{qf} = 2,38$ .

Bij  $\beta_{fi,t} = 0$  leidt dit tot  $\gamma_{qf} = 0,82$ .

Het verloop van  $\gamma_{qf}$  als functie van  $\beta_{fi,t}$  is weergegeven in figuur 3.3. Daarnaast kan  $\gamma_{qf}$  worden bepaald met behulp van de tabellen in bijlage D.



Figuur 3.3: De risicofactor  $\gamma_{qf}$  als functie van de betrouwbaarheidsindex  $\beta_{fi,t}$ .

De ontwerpwaarde van de vuurbelasting kan nu uit de karakteristieke waarde van de vuurbelasting worden bepaald met de globale risicofactor:

$$q_{f,d} = \gamma_{qf} \cdot q_{f,k} \quad (3.8)$$

### 3.3 Afstemming op het veiligheidsniveau van de nationale regelgeving

Aangenomen mag worden dat met de globale risicofactor volgens 3.3 voldaan wordt aan het nationale veiligheidsniveau. De bouwwijze, de levensduur van gebouwen, het gebruik ervan en de statistische kans van het optreden van een grote brand wijken op nationaal niveau nauwelijks af van het Europees niveau. Er zijn dan ook geen bouwkundige, gebruikstechnische en installatietechnische gronden aanwezig waarvoor aanpassing van de globale risicofactor aan het nationale veiligheidsniveau noodzakelijk zou zijn.

Wel is het zo dat ten aanzien van de brandwerendheid met betrekking tot bezwijken van dragende constructie-elementen differentiatie in het veiligheidsniveau aanwezig is in de nationale regelgeving.

In artikel 2.9 van het Bouwbesluit (sterkte bij brand, tijdsduur van bezwijken, nieuwbouw) wordt voor de instandhouding van de hoofddraagconstructie van een bouwwerk een tijdsduur van 60 minuten geëist. Voor hogere bouwwerken wordt de eis verhoogd naar 90 of 120 minuten. Daarnaast geldt voor de instandhouding van vluchtroutes een eis van 30 minuten.

In artikel 2.12 van het Bouwbesluit (sterkte bij brand, tijdsduur van bezwijken, bestaande bouw) wordt voor de instandhouding van de hoofddraagconstructie van een bouwwerk een tijdsduur van 30 minuten geëist. Voor hogere bouwwerken wordt de eis verhoogd naar 60 minuten. Daarnaast geldt voor de instandhouding van vluchtroutes een eis van 20 minuten.

#### 3.3.1 Het standaard veiligheidsniveau

Op basis van het voorgaande kan dus worden geconcludeerd dat het standaard veiligheidsniveau voor hoofddraagconstructies een instandhoudingseis van 60 minuten is, gebaseerd op een gemiddelde vuurbelasting (permanent en variabel) van 60 kg/m<sup>2</sup> v.e. (vurenhoutequivalent). In figuur 3.4 is een kort overzicht gegeven van de relevante impliciete uitgangspunten en randvoorwaarden bij de prestatie-eisen ten aanzien van brandwerendheid en WBDBO (weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag) van het Bouwbesluit.

- Stationaire brand:
  - Compartimentsbrand
  - Temperatuurontwikkeling standaard brandcurve
  
- Afbrandsnelheid:
  - 1 kg v.e./m<sup>2</sup>.min
  - Bij 17,5 a 19 MJ/(kg v.e.) -> 300 kW/m<sup>2</sup>
  
- Brandwerendheid en WBDBO=60 min:
  - Vuurbelasting van 60 kg v.e./m<sup>2</sup> (brandt in 1 uur af)
  
- Beheersbare brandomvang: 1000 m<sup>2</sup>

*Figuur 3.4: De impliciete uitgangspunten en randvoorwaarden van de prestatie-eisen in het Bouwbesluit*

Het Bouwbesluit gaat uit van een maximaal beheersbare brandomvang van 1000 m<sup>2</sup>. Grotere compartimenten worden toegestaan op basis van het Reken- en beslismodel Beheersbaarheid van brand (1995). Daarmee wordt invulling gegeven aan afdeling 2.22 van het Bouwbesluit.

In plaats van een grenswaarde aan de maximale brandomvang wordt nu een grenswaarde aan de maximale vuurlast gesteld. Zonder specifieke installatietechnische voorzieningen wordt 300 ton vurenhoutequivalent (5700 GJ) als bovengrenswaarde gehanteerd voor de totale vuurlast in een brandcompartiment. Voor de afbrandsnelheid van deze vuurlast wordt dezelfde afbrandsnelheid gehanteerd als impliciet in het Bouwbesluit wordt aangehouden. De consequentie hiervan is dat ook in dit reken- en beslismodel de brandwerendheid en de WBDBO worden afgestemd op de vuurbelasting (de vuurlast per m<sup>2</sup> vloeroppervlakte).

Deze benadering sluit rechtstreeks aan op het fysisch brandmodel waarin de brandduur eveneens door de vuurbelasting wordt bepaald. Er zijn dus geen correctiefactoren nodig om het fysisch brandmodel hierop aan te sluiten.

### 3.3.2 Andere veiligheidsniveaus

De andere veiligheidsniveaus in artikel 2.9 en 2.12 van het Bouwbesluit worden aangegeven in andere instandhoudingstijden dan 60 minuten. Deze instandhoudingstijden worden gegeven zonder dat er een verband is met de vuurbelasting. Het is mogelijk om op eenvoudige wijze dit andere veiligheidsniveau in een correctiefactor op de globale risicofactor (en dus op de vuurbelasting) te waarderen.

Wanneer voor de instandhouding van een constructie-element een tijdsduur van 60 minuten wordt geëist, kan dit rechtstreeks met het fysisch brandmodel worden beschouwd. Dit is het referentieniveau, waarvoor geen correctiefactor noodzakelijk is. Met andere woorden, de correctiefactor  $\gamma_r = 1,0$ .

Wanneer op grond van regelgeving een tijdsduur van 90 minuten wordt geëist, ongeacht de vuurbelasting, wordt dus rekening gehouden met een 1,5 maal zo lange brandduur dan in de referentiesituatie. Vanwege het directe verband

tussen brandduur en vuurbelasting betekent dit dat de correctiefactor op de globale risicofactor (en dus op de vuurbelasting)  $\gamma_r = 1,5$  bedraagt.

Andere veiligheidsniveaus kunnen dus op de volgende wijze in de ontwerpwaarde van de vuurbelasting worden meegenomen:

$$q_{f,d} = \gamma_r \cdot \gamma_{qf} \cdot q_{f,k} \quad (3.9)$$

Hierin is:

$\gamma_{qf}$  de globale risicofactor volgens 3.2

$\gamma_r$  de correctiefactor voor het veiligheidsniveau van de nationale regelgeving volgens tabel 3.4

Tabel 3.4: Correctiefactoren veiligheidsniveau nationale regelgeving

Brandwerendheid m.b.t. bezwijken R in [min.]	$\gamma_r$ [-]
20	0,33
30	0,50
60	1,00
90	1,50
120	2,00



## Hoofdstuk 4 Deelrisicofactoren

De globale risicofactor ( $\gamma_{qf}$ ) volgens hoofdstuk 3 kan ook worden bepaald aan de hand van de verschillende deelrisicofactoren die verband houden met het gebouw (d.w.z. het bouwkundige brandcompartiment:  $\gamma_{q1}$ ), het gebruik ervan ( $\gamma_{q2}$ ) en het niveau van de brandveiligheidsmaatregelen ( $\gamma_n$ ). Dit kan worden gezien als een vereenvoudigde methode (Natuurlijk brandconcept, 2001).

Voor de ontwerpwaarde van de vuurbelasting geldt (formule 3.9):

$$q_{f,d} = \gamma_r \cdot \gamma_{qf} \cdot q_{f,k}$$

De risicofactor  $\gamma_{qf}$  is het product van de risicofactoren voor het gebouw (compartiment), het gebruik ervan en de brandveiligheidsmaatregelen:

$$\gamma_{qf} = \gamma_{q1} \cdot \gamma_{q2} \cdot \gamma_n \quad (4.1)$$

Hierin is:

$q_{f,d}$	de ontwerpwaarde van de vuurbelasting
$q_{f,k}$	de karakteristieke vuurbelasting (80% fractiel waarde bij statistische gegevens)
$\gamma_{q1}$	risicofactor maximale brandoppervlakte
$\gamma_{q2}$	risicofactor type gebruik
$\gamma_n$	risicofactor actieve brandveiligheidsvoorzieningen
$\gamma_r$	correctiefactor veiligheidsniveau nationale regelgeving

### 4.1 Risicofactor maximale brandoppervlakte

De risicofactor, gerelateerd aan de maximale brandoppervlakte (doorgaans de oppervlakte van het brandcompartiment), neemt toe bij toenemende oppervlakte. Immers, bij een grotere maximale brandoppervlakte is het effect (gevolg) van een brand groter en moet, om een gelijkblijvend risico te garanderen, de kans op het ontstaan van brand worden verkleind.

Om die reden wordt de risicofactor vergroot bij een toename van de maximale brandoppervlakte. Het referentiegeval wordt daarbij gekarakteriseerd door:

- Een maximale brandoppervlakte van 25 m<sup>2</sup>
- Een economische levensduur van 55 jaar
- Kans op een ernstige brand van  $p_i = 4 \cdot 10^{-7}$  per jaar, per m<sup>2</sup> vloeroppervlakte.

Voor dit referentiegeval bedraagt de kans op de maximale brand:

$$p_{fi} = p_i \cdot A_{fi} \cdot (\text{economische levensduur})$$

$$p_{fi} = 4 \cdot 10^{-7} \cdot 25 \cdot 55 = 5,5 \cdot 10^{-4}$$

Wanneer de constructie is gedimensioneerd met een toelaatbare kans op bezwijken van  $p_i = 7,23 \cdot 10^{-5}$ , betrokken op de economische levensduur van het gebouw, volgt de kans op bezwijken van de constructie in geval van brand uit:

$$p_{f,fi} \leq \frac{p_t}{p_{fi}} = \frac{7,23 \cdot 10^{-5}}{5,5 \cdot 10^{-4}} = 0,131$$

Met behulp van bijlage D wordt voor de betrouwbaarheidsindex een waarde van  $\beta_{fi,t} = 1,12$  gevonden. De corresponderende waarde voor  $\gamma_{q1}$  bedraagt dan 1,10. Zie tabel 4.1 en figuur 4.1.

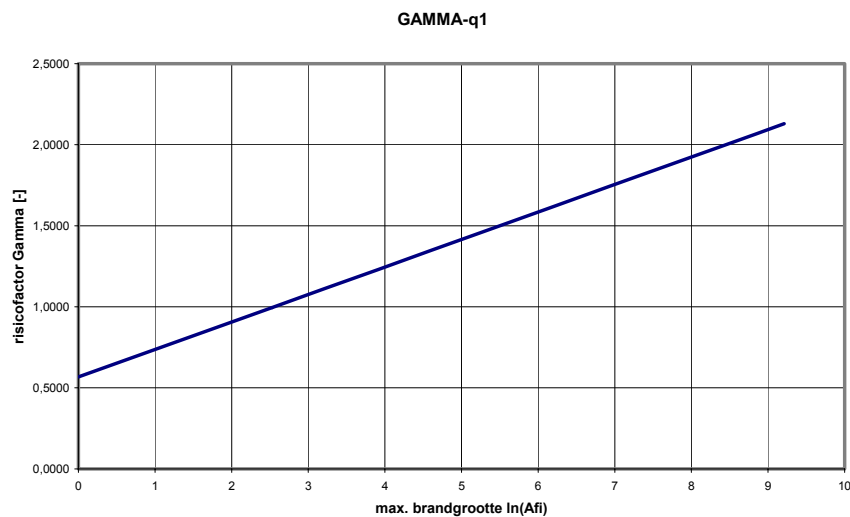
Tabel 4.1: activeringsrisico, gerelateerd aan de maximale brandoppervlakte

Max. brandoppervlakte [m <sup>2</sup> ]	Activeringsrisico $\gamma_{q1}$
25	1,10
100	1,35
250	1,50
1.000	1,74
2.500	1,90
5.000	2,00
10.000	2,13

De waarden voor de risicofactor  $\gamma_{q1}$  in de tabel voldoen aan de volgende relatie, zie bijlage E:

$$\gamma_{q1} = 0,56694 + 0,16967 \cdot \ln(A_{fi}) \quad (4.2)$$

Hierin is  $A_{fi}$  de maximale brandgrootte (de oppervlakte van de brandruimte) in m<sup>2</sup>. Deze relatie is grafisch weergegeven in figuur 4.1.



Figuur 4.1: De risicofactor gerelateerd aan de maximale brandgrootte, waarbij de laatste grootte logaritmisches is uitgezet.

## 4.2 Risicofactor type gebruik

In de voorgaande paragraaf is als referentiesituatie een kans op brand ( $p_1$ ) van  $4 \cdot 10^{-7}$  per jaar aangehouden. Deze kans op brand is echter afhankelijk van het type gebruik en gebouw. In het natuurlijk brandconcept (2001) wordt daarvoor de volgende klassering aangehouden, zie tabellen 3.2 en 4.2.

Tabel 4.2: activeringsrisico, klassering

Risicoklasse	$p_1$ [ $10^{-7}/(\text{jaar} \cdot \text{m}^2)$ ]	$p_1/p_1, \text{ normaal}$	Activeringsrisico $Y_{q2}$
Laag	0,4	$10^{-1}$	0,78
Normaal	4	$10^0$	1,00
Hoog	40	$10^1$	1,22
Zeer hoog	400	$10^2$	1,44
Extreem hoog	4000	$10^3$	1,66

In het natuurlijk brandconcept wordt de risicofactor, gerelateerd aan het type gebruik van de brandruimte, voor gebruiksfuncties met een normaal activeringsrisico dus gesteld op:

$$Y_{q2} = 1,0$$

Onder gebruiksfuncties met een normaal activeringsrisico worden in dit verband zowel woonfuncties als utiliteitsfuncties verstaan, variërend van kantoorfunctie tot industrie functie. Alleen bij gebouwtypen met een duidelijk lager activeringsrisico wordt de risicofactor gereduceerd tot 0,78. Daarnaast zijn er gebouwtypen denkbaar met een duidelijk hoger activeringsrisico, dit zijn altijd specifieke industrie functies. Zie tabel 4.3.

Tabel 4.3: activeringsrisico, gerelateerd aan het type gebruik

Gebruik (voorbeelden)	Risicoklasse	Activeringsrisico $Y_{q2}$
kunstgalerij, museum, zwembad	Laag	0,78
normale gebruiksfuncties: woning, kantoor, hotel, etc.	Normaal	1,00
industrie functie: papierindustrie	Hoog	1,22
industrie functie: machinefabriek	Zeer hoog	1,44
industrie functie: chemisch laboratorium, schilderwerkplaats	Extreem hoog	1,66
industrie functie: verffabriek		

In tabel 4.4 wordt een voorstel gedaan om tot een klassering te komen in gebruiksfuncties volgens het Bouwbesluit.

Tabel 4.4: activeringsrisico gebruiksfuncties  $\gamma_{q2}$ 

Gebruiksfunctie	Risicoklasse [-]	$\gamma_{q2}$
<b>1 woonfunctie</b>		
algemeen	normaal	1,00
<b>2 bijeenkomstfunctie</b>		
theater, bioscoop	normaal	1,00
museum (schilderijen)	laag	0,78
<b>3 celfunctie</b>		
algemeen	NB	
<b>4 gezondheidszorg</b>		
slaapkamer	normaal	1,00
<b>5 industriefunctie</b>		
opslagfunctie	normaal	1,00
productiefunctie:		
machiefabriek	hoog	1,22
chemisch lab, spuitrij, schilderwerkplaats	zeer hoog	1,44
verffabriek	extreem hoog	1,66
<b>6 kantoorfunctie</b>		
algemeen	normaal	1,00
<b>7 logiesfunctie</b>		
hotel (slaapkamer)	normaal	1,00
hotel (receptie)	normaal	1,00
<b>8 onderwijsfunctie</b>		
klaslokaal	normaal	1,00
<b>9 sportfunctie</b>		
zwembad	laag	0,78
overig	normaal	1,00
<b>10 winkelfunctie</b>		
bibliotheek	normaal	1,00
winkelcentrum	normaal	1,00
<b>11 overige gebruiksfunctie</b>		
parkeergarage	normaal	1,00

### 4.3 Risicofactoren voor actieve brandveiligheidsmaatregelen

Op soortgelijke wijze kan de invloed van actieve brandveiligheidsmaatregelen worden gekwantificeerd. Iedere actieve maatregel vermindert de kans dat een beginnende brand kan uitgroeien tot een grote compartimentsbrand. De kans op een ernstige brand wordt met actieve brandveiligheidsmaatregelen gereduceerd, zie tabel 3.3.

Hiermee wordt rekening gehouden indien van de risicofactoren ( $\gamma_i$ ) volgens tabel 4.5 gebruik wordt gemaakt. Bij meerdere brandveiligheidsmaatregelen ( $n$ ) wordt de samengestelde risicofactor ( $\gamma_n$ ) als volgt berekend (Natuurlijk brandconcept, 2001):

$$\gamma_n = \prod_{i=1}^n \gamma_i \quad (4.3)$$

Tabel 4.5: risicofactoren voor diverse brandveiligheidsmaatregelen

Voorziening	Differentiatie	Factor $\gamma_i$	Faalkans $p_i$
Sprinkler	Normaal	0,61	0,02
	1 onafhankelijke watertoevoer	0,53	0,01
	2 onafhankelijke watertoevoeren	0,43	0,005
Detectie	Warmte	0,87	0,25
	Rook	0,73	0,0625
Automatische doormelding	(naar de brandweer)	0,87	0,25
Brandweer	Overheidsbrandweer	0,78	0,10
	Bedrijfsbrandweer	0,61	0,02
Veilige toegangswegen	Wettelijk niveau	1,00 / 1,50 *	
Brandbeheersingsvoorzieningen	Wettelijk niveau	1,00 / 1,50 *	
Rookbeheersingsvoorzieningen	Wettelijk niveau	1,00 / 1,50 *	

\* Risicofactor = 1,0 indien de wettelijk vereiste bouwtechnische of installatietechnische voorzieningen aanwezig zijn;  
Risicofactor = 1,5 indien de wettelijk vereiste bouwtechnische of installatietechnische voorzieningen ontbreken.

De risicofactoren  $\gamma_i$  hangen feitelijk af van de oppervlakte  $A_{fi}$  maar in het geval van de vereenvoudigde benadering wordt uitgegaan van de vaste waarden volgens tabel 4.5. Deze corresponderen met een vloeroppervlakte van 1000 m<sup>2</sup>.

Feitelijk is de methode, zoals weergegeven in formule (4.3) principieel onjuist. In plaats van de deelrisicofactoren  $\gamma_i$  moeten de bijbehorende faalkansen  $p_i$  lineair met elkaar worden vermenigvuldigd (zie 3.1.1).

Desondanks wordt in het Natuurlijk Brandconcept (2001) gesteld dat de vereenvoudigde methode met deelrisicofactoren niet meer dan 5% onnauwkeurig is ten opzichte van de uitgebreide methode volgens hoofdstuk 3. In hoofdstuk 6 wordt hierop nader ingegaan.



## Hoofdstuk 5 Rekenprotocol ontwerpwaarde vuurbelasting

Voor de ontwerpwaarde van de vuurbelasting geldt (formule 3.9):

$$q_{f,d} = \gamma_r \cdot \gamma_{qf} \cdot q_{f,k}$$

Hierin is:

- $q_{f,d}$  de ontwerpwaarde van de vuurbelasting  
 $q_{f,k}$  de karakteristieke vuurbelasting (80% fractiel waarde bij statistische gegevens)

Voor de correctiefactor veiligheidsniveau nationale regelgeving  $\gamma_r$  wordt verwezen naar tabel 3.4.

De globale risicofactor  $\gamma_{qf}$  kan volgens het Natuurlijk brandconcept (2001) worden bepaald volgens hoofdstuk 3 of volgens hoofdstuk 4 (vereenvoudigde methode met deelrisicofactoren).

### Probabilistische methode

De probabilistische methode is uitgewerkt in bijlage D. Daarbij moeten achtereenvolgens de volgende stappen worden genomen:

- Bepaal de kans  $p_{fi}$  op een ernstige brand
- Bepaal het quotiënt  $p_i/p_{fi}$  ( $=p_{f,fi}$ )
- Bepaal de betrouwbaarheidsindex  $\beta_{fi}$
- Bepaal de globale risicofactor  $\gamma_{qf}$

### Vereenvoudigde methode (deelrisicofactoren)

De globale risicofactor  $\gamma_{qf}$  wordt bepaald uit de verschillende deelrisicofactoren die zijn uitgewerkt in bijlage E (formule 4.1):

$$\gamma_{qf} = \gamma_{q1} \cdot \gamma_{q2} \cdot \gamma_n$$

Hierin is:

- $\gamma_{q1}$  risicofactor maximale brandoppervlakte (tabel 4.1)  
 $\gamma_{q2}$  risicofactor type gebruik (tabel 4.2, tabel 4.4)  
 $\gamma_n$  risicofactor actieve brandveiligheidsvoorzieningen (tabel 4.5)





## Hoofdstuk 6 Evaluatie probabilistische benadering

### 6.1 Toepassingsgebied

De risicofactoren zijn in de benadering volgens het natuurlijk brandconcept (hoofdstuk 3 en 4) alleen gedefinieerd voor het risico van bezwijken van de (hoofd)draagconstructie. De risicofactoren hebben dus geen waarde voor de beoordeling van de brandcompartimentering, rookcompartimentering of veilig vluchten. Voor deze aspecten dient de algemeen gehanteerde risicobenadering, zoals beschreven in hoofdstuk 2, te worden gevolgd.

De risicofactoren worden toegepast op de karakteristieke vuurbelasting ( $q_{f,k}$ : 80% fractiel waarde bij een statistisch bepaalde vuurbelasting), waaruit de ontwerpwaarde voor de vuurbelasting volgt ( $q_{f,d}$ ). De karakteristieke vuurbelasting moet daarvoor dus statistisch bepaald zijn. Voor elke gebruiksfunctie wordt dezelfde statistische verdeling van de vuurbelasting verondersteld met een variatiecoëfficiënt van  $V_{qf}=0,3$ .

De vraag dringt zich op hoe in dit verband moet worden omgegaan met gedetermineerde vuurbelastingen, bijvoorbeeld afkomstig uit een objectspecifieke inventarisatie. Deze deterministische vuurbelasting bezit geen variatiecoëfficiënt, waardoor dus strikt genomen van lagere risicofactoren zou kunnen worden uitgegaan. Echter, ook een determinatie op basis van een inventarisatie kan niet 100% nauwkeurig zijn. Om die reden wordt geadviseerd om een gedetermineerde vuurbelasting te interpreteren als een karakteristieke vuurbelasting (80% fractiel). Uiteraard kan hiervan worden afgeweken mits de nauwkeurigheid van de determinatie kan worden onderbouwd.

### 6.2 Voorwaarden

Het risico van een volledig ontwikkelde brand en diens gevolge bezwijken van de (hoofd)draagconstructie wordt bepaald door de bouwkundige eigenschappen van de brandruimte, het gebruik ervan en de toegepaste brandveiligheidsmaatregelen.

Als voorwaarden voor de toepassing van het fysisch brandmodel worden in NEN-EN 1991-1-2:2002 genoemd:

- Actieve en passieve brandbeveiligingsvoorzieningen worden zorgvuldig onderhouden;
- De relevante brandvermogensscenario's worden vastgesteld door deskundig personeel, of worden in nationale regelgeving voorgeschreven.

### 6.3 De globale risicofactor

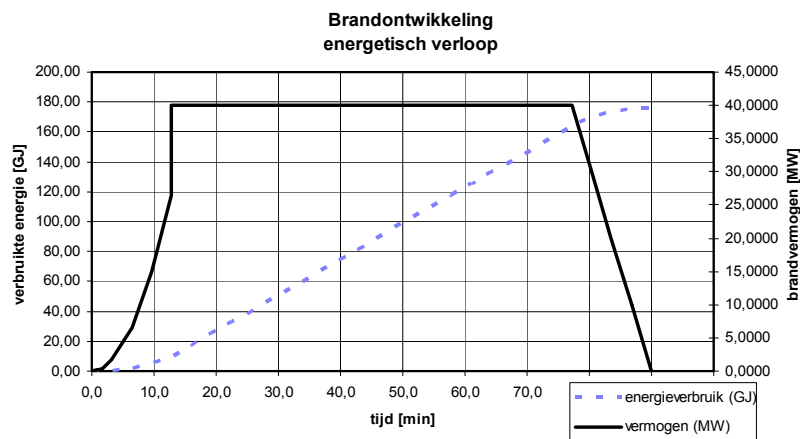
#### 6.3.1 Toepassing van de globale risicofactor

De risicofactoren worden toegepast op de vuurbelasting. Daarmee is een analogie verkregen met de risicofactoren die op mechanische belastingen worden toegepast.

Mechanische belastingen resulteren in materiaalspanningen die een directe relatie met het draagvermogen bezitten. De vraag is of voor thermische belastingen dezelfde benadering gevolgd kan worden. Dit geldt met name voor de afleiding van de betrouwbaarheidsindex  $\beta$  en de daaruit volgende globale risicofactor  $\gamma_{qf}$ .

Daarnaast is het principieel onjuist om de vuurbelasting als thermische belasting aan te merken voor de constructie. Immers, niet de vuurbelasting is de bron (actor) voor de temperatuur van de zones in het zonemodel, maar het brandvermogen. Het zou dus in elk geval correcter geweest zijn om de risicofactoren te relateren aan het brandvermogen. In het scenario van figuur 6.1 betekent dit dat de risicofactoren niet op de horizontale tijdas worden toegepast (zoals in het natuurlijk brandconcept wordt gedaan: risicofactoren gerelateerd aan de vuurbelasting), maar op de verticale brandvermogenas (risicofactoren gerelateerd aan het brandvermogen).

De correctiefactor veiligheidsniveau nationale regelgeving vormt hierop een uitzondering, deze moet in de definitie volgens 3.3.2 wel worden toegepast op de horizontale tijdas.



Figuur 6.1: Typisch brandvermogensscenario volgens het natuurlijk brandconcept.

### 6.3.2 Vergelijking van toepassingen van de globale risicofactor

De thermische consequenties van toepassing van de risicofactor op de vuurbelasting en van toepassing van de risicofactor op het brandvermogen zijn met elkaar vergeleken. Daarvoor is als voorbeeldruimte gehanterd:

- Ruimte van 8 x 6 meter, hoogte: 2,6 meter.
- 1 Gevelopening van 2 meter breed en 1,3 meter hoog

De randvoorwaarden zijn afkomstig van een woningbrand:

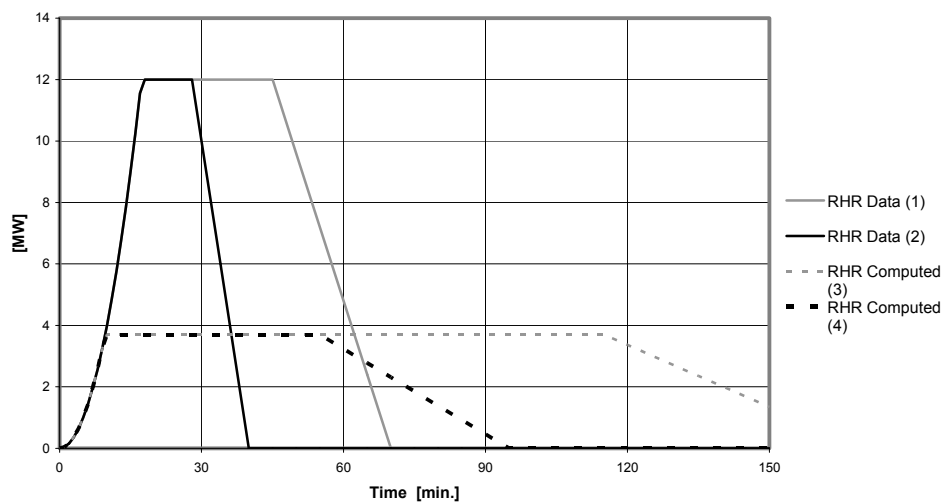
- referentie vermogensdichtheid 250 kW/m<sup>2</sup> (normaal)
- tijdconstante voor branduitbreiding 300 s (matig)
- vuurbelasting (variabel) van 870 MJ/m<sup>2</sup> (80% fractiel)
- verbrandingsmodel extended combustion
- verbrandingsefficiëntie 0,8
- steenachtige scheidingsconstructies en betonnen vloeren

De globale risicofactor van  $\gamma_{qf} = 1,0$  wordt vergeleken met een globale risicofactor van  $\gamma_{qf} = 0,46$  (voorzieningenniveau van diverse actieve brandveiligheidsmaatregelen, b.v. overheidsbrandweer en rookdetectie). Deze risicofactor wordt in het ene geval toegepast op de vuurbelasting (a) en in het andere geval op de brandvermogensdichtheid (b). Tenslotte wordt de risicofactor als een combinatie van (a) en (b) toegepast (c).

**(a). Toepassing op de vuurbelasting**

Toepassing van de risicofactor op de vuurbelasting, conform het Natuurlijk Brandconcept (2001), levert de brandvermogensscenario's in figuur 6.2 met de thermische consequenties in figuur 6.3.

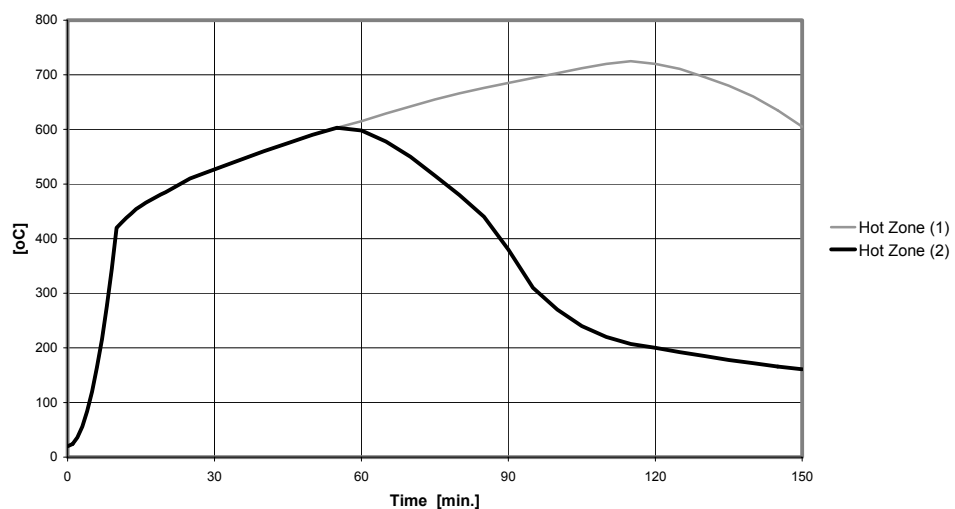
**Rate of Heat Release**



*Figuur 6.2: Brandvermogensscenario's bij  $\gamma_{qf}$  toegepast op de vuurbelasting:*

- (1) Opgelegd (brandstofbeheerst) brandscenario
- (3) Berekend (brandstofbeheerst en ventilatiebeheerst) brandscenario
- (4) Gecorrigeerd brandscenario door toepassing van de risicofactor op de vuurbelasting

**Gas Temperature**



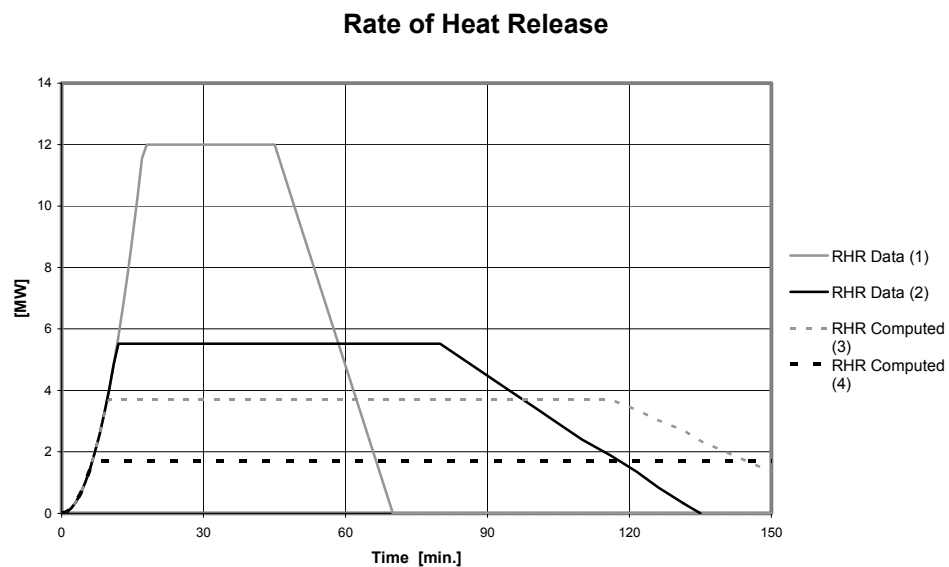
*Figuur 6.3: Thermische consequenties van de brandvermogensscenario's van figuur 6.2:*

- (1) Temperatuurverloop bij scenario zonder risicofactor
- (2) Temperatuurverloop bij gecorrigeerd scenario

Uit figuur 6.2 blijkt duidelijk dat de globale risicofactor in dit geval alleen consequenties heeft voor de brandduur. Er zijn dan ook in het eerste gedeelte van het brandscenario geen thermische consequenties als gevolg van de risicofactor. Een lagere risicofactor biedt dus pas na verloop van tijd voordelen. In het voorbeeld worden de thermische consequenties [as na circa 60 minuten beperkt.

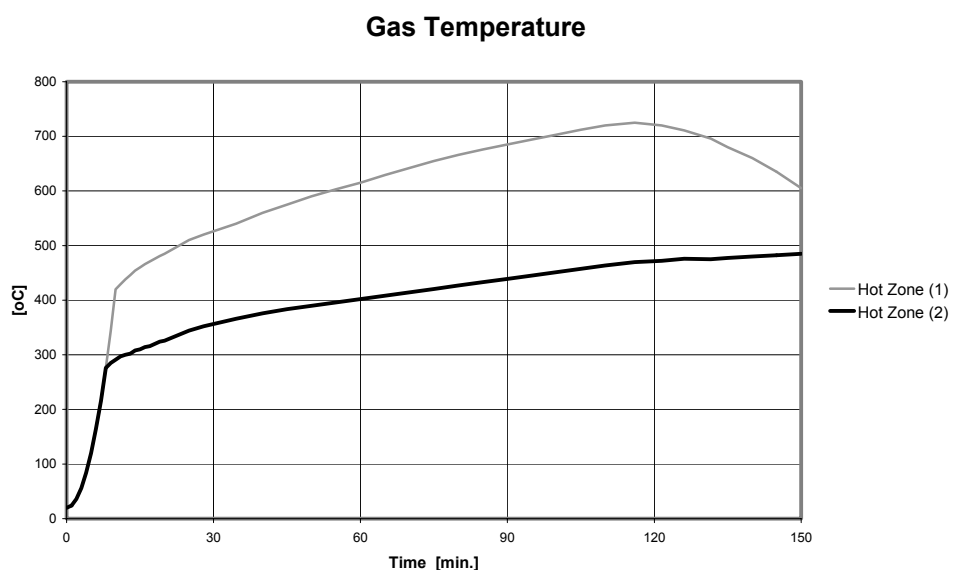
### (b). Toepassing op de brandvermogensdichtheid

Toepassing van de risicofactor op de brandvermogensdichtheid levert de brandvermogensscenario's in figuur 6.4 met de thermische consequenties in figuur 6.5.



Figuur 6.4: Brandvermogensscenario's bij  $\gamma_{qf}$  toegepast op de brandvermogensdichtheid:

- (1) Opgelegd (brandstofbeheerst) brandscenario
- (3) Berekend (brandstofbeheerst en ventilatiebeheerst) brandscenario
- (4) Gecorrigeerd brandscenario door toepassing van de risicofactor op de brandvermogensdichtheid



Figuur 6.5: Thermische consequenties van de brandvermogensscenario's van figuur 6.4:

- (1) Temperatuurverloop bij scenario zonder risicofactor
- (2) Temperatuurverloop bij gecorrigeerd scenario

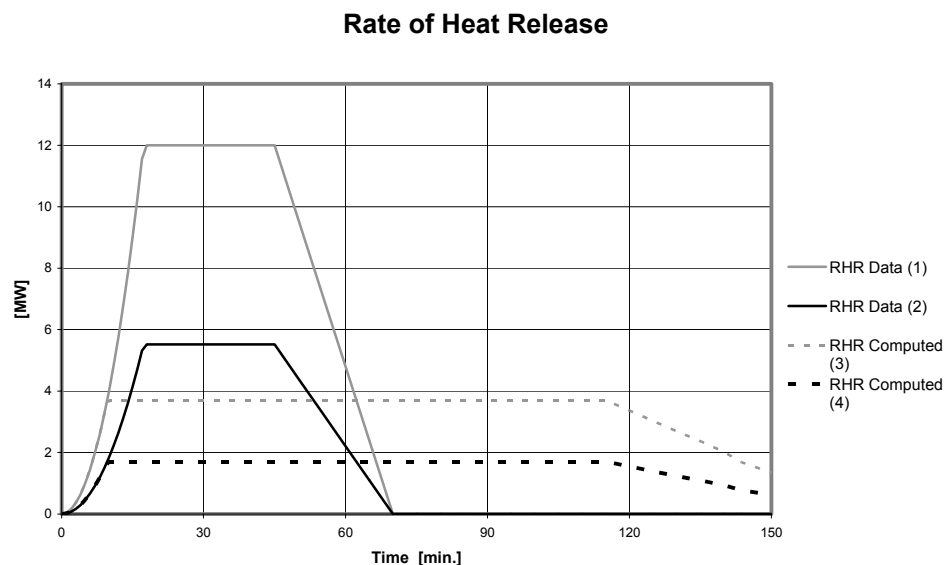
Zoals uit figuur 6.4 blijkt is de globale risicofactor in dit geval alleen op het brandvermogen toegepast. De brandenergie (vuurlast) is onveranderd gebleven. In dit geval (reductie van het brandvermogen) neemt daardoor de brandduur toe. Het brandvermogensscenario verandert dus aanzienlijk.

De risicofactor moet daarnaast niet alleen worden toegepast op de (brandstofbeheerste) referentievermogensdichtheid ((1)  $\rightarrow$  (2)), maar ook op de berekende (ventilatiebeheerste) brandvermogensdichtheid ((3)  $\rightarrow$  (4)). Indien dit niet wordt gedaan heeft de risicofactor geen waarde, omdat het ventilatiebeheerste brandvermogen (3) in veel gevallen lager is dan het met de risicofactor vermenigvuldigde brandstofbeheerste brandvermogen (2).

In dit geval zijn de thermische consequenties als gevolg van de risicofactor zichtbaar zodra de brand zich volledig heeft ontwikkeld (na circa 10 minuten). Dit is een meer realistische waardering van de risicofactor.

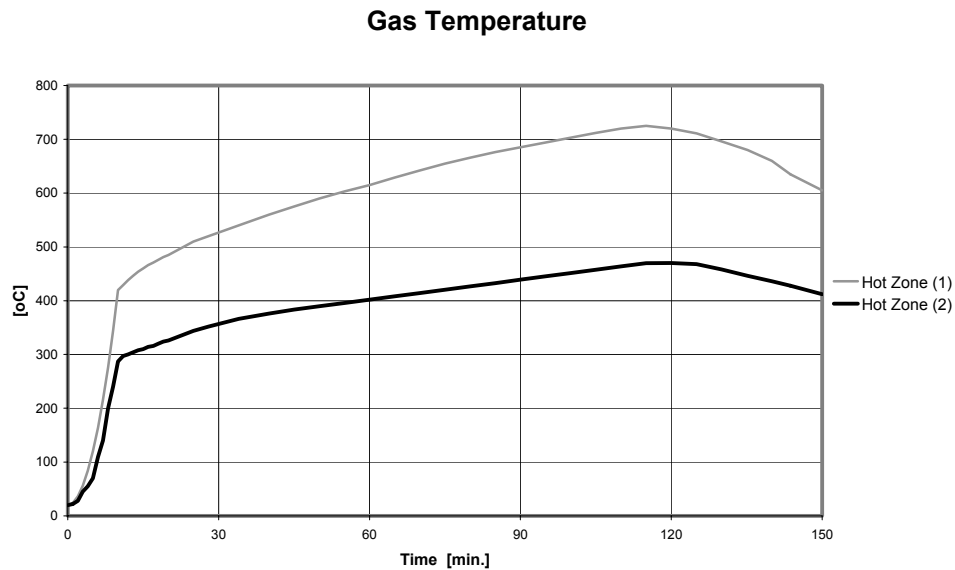
### (c). Toepassing op de vuurbelasting en de brandvermogensdichtheid

Toepassing van de risicofactor op het brandvermogen heeft invloed op zowel de vermogensas als de tijdas in het brandvermogensscenario (figuur 6.4). Dit komt doordat een ander brandvermogen bij gelijkblijvende brandenergie (vuurlast) de brandduur verandert. Echter, het meest correct is toepassing van de risicofactor op het brandvermogen zonder de tijdas te beïnvloeden. Zie het brandvermogensscenario in figuur 6.6.



Figuur 6.6: Brandvermogensscenario's bij  $\gamma_{qf}$  toegepast op de brandvermogensas:

- (1) Opgelegd (brandstofbeheerst) brandscenario
- (3) Berekend (brandstofbeheerst en ventilatiebeheerst) brandscenario
- (4) Gecorrigeerd brandscenario door toepassing van de risicofactor op de vermogensas



Figuur 6.7: Thermische consequenties van de brandvermogensscenario's van figuur 6.6:  
 (1) Temperatuurverloop bij scenario zonder risicofactor  
 (2) Temperatuurverloop bij gecorrigeerd scenario

Dit brandvermogensscenario betekent feitelijk dat de risicofactor zowel op het brandvermogen als op de vuurlast wordt toegepast, op een zodanige wijze dat de brandduur gelijk blijft.

## 6.4 De deelrisicofactoren

Zoals in 4.3 is aangegeven is de methode met deelrisicofactoren voor de actieve brandveiligheidsmaatregelen principieel onjuist. Echter, in het natuurlijk brandconcept (2001) wordt aangegeven dat de onnauwkeurigheid niet meer bedraagt dan 5%, waardoor toepassing van de methode gerechtvaardigd zou zijn.

In tabel 6.1 is voor diverse combinaties van actieve brandveiligheidsmaatregelen de vereenvoudigde methode volgens hoofdstuk 4 vergeleken met de risicobenadering volgens hoofdstuk 3.

De tabel  $\gamma_n$  in bijlage E sluit aan op de tabel  $\gamma_{qf}$  in bijlage D (behorende bij de risicobenadering volgens hoofdstuk 3), gecorrigeerd op de risicofactoren  $\gamma_{q1}$  en  $\gamma_{q2}$ . De hiermee bepaalde  $\gamma_n$  kan aanzienlijk afwijken van de  $\gamma_n$  die volgens hoofdstuk 4 (vereenvoudigde methode) wordt bepaald met behulp van formule (4.3). Zie tabel 6.1.

Tabel 6.1: risicofactoren voor diverse brandveiligheidsmaatregelen:

geavanceerde methode (hoofdstuk 3) versus vereenvoudigde methode (hoofdstuk 4)

Aantal maatregelen	Maatregelenpakket	$\gamma_n$ (vereenvoudigd)	$\gamma_n$ (geavanceerd)	
			1000 m <sup>2</sup>	10.000 m <sup>2</sup>
1	brandweer	0,78	0,78	0,82
2	Brandweer, rookdetectie	0,57	0,46	0,60
	Brandweer, warmtedetectie	0,68	0,63	0,71
	Brandweer, sprinkler (1)	0,41	0	0,43
	Brandweer, sprinkler (2)	0,34	0	0,35
3	Brandweer, rookdetectie, doormelding	0,50	0	0,48
	Brandweer, warmtedetectie, doormelding	0,59	0,46	0,60
4	Brandweer, sprinkler (1), warmtedetectie, doormelding	0,31	0	0

De deelrisicofactoren volgens de vereenvoudigde methode zijn gedefinieerd bij een brandcompartimentsgrootte van 1000 m<sup>2</sup>. Wanneer slechts 1 actieve maatregel wordt toegepast, komen de vereenvoudigde en de geavanceerde methode dan ook goed overeen.

Wanneer 2 of meer actieve maatregelen worden toegepast wijken de vereenvoudigde en geavanceerde methode sterk van elkaar af. De afwijking is veel groter dan 5%, beschouwd op de compartimentsgrootte van 1000 m<sup>2</sup>. Dit heeft te maken met het feit dat de vereenvoudigde methode principieel onjuist is. In plaats van de deelrisicofactoren  $\gamma_i$  moeten de bijbehorende faalkansen  $p_i$  lineair met elkaar worden vermenigvuldigd (zie 4.3).

Wanneer de vereenvoudigde methode (gebaseerd op 1000 m<sup>2</sup>) wordt vergeleken met de geavanceerde methode, beschouwd op 10.000 m<sup>2</sup>, ontstaat een wat betere overeenstemming. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de vereenvoudigde methode een grote mate van extra veiligheid introduceert ten opzichte van de geavanceerde methode.





## Hoofdstuk 7 Aanbevelingen probabilistische benadering

### 7.1 Algemeen

De algemene risicobenadering is geschetst in hoofdstuk 2. Het verdient aanbeveling om deze te hanteren. Dat houdt in dat voor alle relevante scenario's de kans en het effect bepaald moeten worden. Voor de bepaling van de kans moet worden uitgegaan van statistische gegevens. Voor de bepaling van het effect kan onder andere gebruik gemaakt worden van het fysisch brandmodel. Vervolgens kan op basis van een risico-analyse het eventuele voorzieningsniveau bepaald worden waarmee kans- of effectreductie kan worden bereikt, zodanig dat aan het publiekrechtelijk veiligheidsniveau kan worden voldaan.

Voor de beschouwing van het risico van bezwijken van de hoofddraagconstructie kan de benadering van hoofdstuk 3 gevolgd worden. Dit is minder uitgebreid dan een risico-analyse, omdat hierin alleen kansen worden beschouwd. Hiermee wordt aangesloten bij de Europese methodiek NEN-EN 1990:2002 en Annex E van NEN-EN 1991-1-2:2002.

Daarbij worden de volgende wijzigingen aanbevolen:

- De globale risicofactor  $\gamma_{qf}$  wordt vermenigvuldigd met de correctiefactor veiligheidsniveau nationale regelgeving (tabel 3.4);
- De globale risicofactor wordt berekend volgens hoofdstuk 3, in plaats van de vereenvoudigde benadering met deelrisicofactoren volgens hoofdstuk 4. Zie 7.2 en 7.3;
- De globale risicofactor wordt toegepast op de brandvermogensdichtheid (zie 7.2) en als gevolg daarvan ook op de vuurbelasting (zie 7.3). De correctiefactor veiligheidsniveau nationale regelgeving wordt alleen toegepast op de vuurbelasting (zie 7.3).

Voor de bepaling van de in 7.2 en 7.3 opgenomen (globale) risicofactor kan gebruik gemaakt worden van de tabellen in 7.4.

### 7.2 De rekenwaarde van de brandvermogensdichtheid

De tijdsafhankelijke rekenwaarde van de brandvermogensdichtheid ( $RHR_{f,r}(t)$ : Rate of Heat Release, gecorrigeerd op de risicofactor) kan als volgt uit het brandvermogensscenario worden bepaald:

$$RHR_{f,\gamma}(t) = RHR_f(t) \cdot \gamma_{qf} \quad (7.1)$$

waarin

- |               |   |
|---------------|---|
| $RHR_f(t)$    | is de tijdsafhankelijke brandvermogensdichtheid in de brandruimte [ $\text{kW}/\text{m}^2$ ] (brandvermogensscenario)   |
| $\gamma_{qf}$ | is de risicofactor waarmee de brandvermogensdichtheid moet worden vermenigvuldigd om het activeringsrisico en het effect van actieve brandveiligheidsmaatregelen in rekening te brengen (zie Tabel 7.1) |

De risicofactor waaruit de rekenwaarde van de brandvermogensdichtheid wordt verkregen geldt gedurende het totale brandvermogensscenario, dus zowel tijdens de brandstofbeheerste brandvermogensdichtheid als tijdens de ventilatiebeheerste brandvermogensdichtheid.

De brandstofbeheerste brandvermogensdichtheid wordt ook wel referentie brandvermogensdichtheid genoemd.

De ventilatiebeheerste brandvermogensdichtheid wordt bepaald door de mate van zuurstoftoetreding. De brandduur wordt daarbij bepaald door het verbrandingsmodel (extended combustion vs. external flaming) en de ontwerpwaarde van de vuurbelasting.

De ontwerpwaarde van de vuurbelasting  $q_{f,d}$  is gedefinieerd als:

$$q_{f,d} = q_{f,k} \cdot m \cdot \gamma_r \quad (7.2)$$

### 7.3 De rekenwaarde van de vuurbelasting

De rekenwaarde van de vuurbelasting  $q_{f,r}$  is op basis van formule (7.1) en (7.2) gedefinieerd als:

$$q_{f,r} = q_{f,k} \cdot m \cdot \gamma_{qf} \cdot \gamma_r \quad (7.3)$$

waarin

$q_{f,k}$	is de karakteristieke vuurbelasting van de brandruimte [MJ/m <sup>2</sup> ]
$m$	is de verbrandingsfactor
$\gamma_{qf}$	is de risicofactor waarmee de karakteristieke vuurbelasting moet worden vermenigvuldigd om het activeringsrisico en het effect van actieve brandveiligheidsmaatregelen in rekening te brengen (zie Tabel 7.1)
$\gamma_r$	is een correctiefactor voor het veiligheidsniveau van de nationale regelgeving (zie Tabel 7.2)

## 7.4 Tabellen risicofactoren en vermenigvuldigingsfactoren

Tabel 7.1: risicofactoren  $\gamma_{qf}$

Vermenigvuldigingsfactor referentiekans:	Risicofactor $\gamma_{qf}$
$P_{tot} = p_1 \cdot p_2 \cdot \prod_i^n p_{ni}$	
<0,1375	0
0,1375	0,54
0,14	0,56
0,15	0,62
0,17	0,68
0,2	0,74
0,3	0,85
0,4	0,92
0,5	0,97
0,7	1,04
1 (referentie)	1,10
2	1,23
3	1,30
4	1,35
5	1,39
7	1,45
10	1,51
20	1,63
30	1,69
40	1,74
50	1,78
70	1,84
100	1,90
200	2,01
400	2,13

Opmerkingen bij tabel 7.1:

Tussenvallende waarden mogen worden bepaald door lineaire interpolatie.

In tabel 7.1 zijn:

- $p_1$  de vermenigvuldigingsfactor voor de activeringskans, afhankelijk van de vloeroppervlakte van het compartiment, bepaald volgens tabel 7.1a.
- $p_2$  de vermenigvuldigingsfactor voor de activeringskans, afhankelijk van de gebruiksfunctie van het brandcompartiment, bepaald volgens tabel 7.1b.
- $p_{ni}$  de vermenigvuldigingsfactoren waarmee de faalkansen van de actieve brandveiligheidsvoorzieningen in rekening worden gebracht, bepaald volgens tabel 7.1c.

*Tabel 7.1a: Factor  $p_1$*

Vloeroppervlakte van het compartiment $A_f$ [m <sup>2</sup> ]	Vermenigvuldigingsfactor activeringskansen voor brand $p_1$
25 (referentie)	1
250	10
2 500	100
5 000	200
10 000	400

Opmerking bij tabel 7.1a:

De factor  $p_1$  voldoet aan de volgende relatie:

$$p_1 = \frac{A_f}{25}$$

met  $A_f$  in [m<sup>2</sup>]

*Tabel 7.1b: Factor  $p_2$*

Risicoklasse	Gebruiksfuncties	Vermenigvuldigingsfactor activeringskansen voor brand $p_2$
Laag	Specifieke bijeenkomst- of sportfuncties met lage vuurbelasting <sup>(1)</sup>	0,1
Normaal (referentie)	Alle gebruiksfuncties volgens het Bouwbesluit die niet in een andere klasse vallen	1
Hoog	Specifieke industriefunctie (productiefunctie) <sup>(2)</sup>	10
Zeer hoog	Specifieke industriefunctie (productiefunctie) <sup>(3)</sup>	100
Extreem hoog	Specifieke industriefunctie (productiefunctie) <sup>(4)</sup>	1000

Opmerking bij tabel 7.1b:

- (1) bijvoorbeeld: kunstgalerij, museum, zwembad  
 (2) bijvoorbeeld: machinefabriek  
 (3) bijvoorbeeld: chemisch laboratorium, schilderswerksplaats  
 (4) bijvoorbeeld: verffabriek

*Tabel 7.1c: Factoren  $p_{ni}$*

Voorziening	Differentiatie	Vermenigvuldigingsfactor (faalkans) actieve brandveiligheidsmaatregelen $p_{ni}$
Sprinkler	Normaal	0,02
	1 onafhankelijke watertoevoer	0,01
	2 onafhankelijke watertoevoeren	0,005
Detectie	Warmte	0,25
	Rook	0,0625
Automatische doormelding	(naar de brandweer)	0,25
Brandweer	Overheidsbrandweer	0,1
	Bedrijfsbrandweer (met ondersteuning overheidsbrandweer)	0,02

Opmerking bij tabel 7.1c:

De faalkansen hebben betrekking op brandveiligheidsvoorzieningen waarvan de werking is gegarandeerd door middel van regelmatig onderhoud en controle.

---

Tabel 7.2: Correctiefactoren  $\gamma_r$

---

Brandwerendheid m.b.t. bezwijken (R) conform Bouwbesluit 2003 [min]	Correctiefactor voor veiligheidsniveau nationale regelgeving $\gamma_r$
20	0,33
30	0,50
60	1,00
90	1,50
120	2,00

---



## Literatuur

- Alpert, R.L. (2002), Ceiling Jet Flows, in: DiNenno, P.J. et al. (eds), *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, Quincy: National Fire Protection Association, pp. 2-18 – 2-31.
- BS 7974:2001, *Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Code of practice*, London: BSI British Standards.
- CIB W14 Workshop Report (1983), *Fire Safety Journal*, 6, pp. 1-79.
- Cieraad, C.D.J. (1995), *Brandbeveiligingsconcept – Rapportage reken- en beslismodel beheersbaarheid van brand*, Den Haag: Sdu
- DD 240-1:1997, *Fire safety engineering in buildings. Guide to the application of fire safety engineering principles*, London: BSI British Standards.
- Drysdale, D (2002), *An Introduction to Fire Dynamics*, Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Fire Load Density (1986), Appendix 1 of: Design Guide, Structural Fire Safety (CIB W14 Workshop), *Fire Safety Journal*, 10, pp. 101-118.
- Herpen, R.A.P. van, N.J. Voogd (2006), *Fysisch brandmodel – Achtergronden: Normalisatie fysisch brandmodel – Basismodel*, Zwolle: Adviesburo Nieman B.V.
- International Fire Engineering Guidelines (2005), Falls Church: International Code Council.
- ISO/TR 13387-2:1999, *Fire safety engineering – Part 2: Design fire scenarios and design fires*, Genève: International Organization for Standardization.
- Natuurlijk Brandconcept (2001), CEC Overeenkomst 7215-PA/PB/PC – 057.
- 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 6090:2006 (ontwerp), *Bepaling van de vuurbelasting*, Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.
- Oerle, N.J. van, E.W. Janse, P.H.E. van de Leur (1996), *Richtlijn Vultijdenmodel Grote Brandcompartimenten (TNO-rapport 96-CVB-R0330(1))*, Delft: TNO-Bouw.
- Vuurbelastingen in industriegebouwen (1997), Arnhem: NIBRA.





## **Bijlage A    Variabele vuurbelasting (gebruiksfuncties)**



Tabel A.1: variabele vuurbelasting

gebruiksfunctie	gemiddeld [MJ/m <sup>2</sup> ]		80%-fractiel [MJ/m <sup>2</sup> ]				90%-fractiel [MJ/m <sup>2</sup> ]		95%-fractiel [MJ/m <sup>2</sup> ]		gemiddeld [MJ/m <sup>2</sup> ]	80%-fractiel [MJ/m <sup>2</sup> ]
	NEN1991-1-2 <sup>1</sup> & NB <sup>2</sup>	IFEG <sup>3</sup> & BD240-1 <sup>4</sup>	NEN1991-1-2 <sup>1</sup> & NB <sup>2</sup>	CIB W14 <sup>5</sup>	IFEG <sup>3</sup> & BD240-1 <sup>4</sup>	NEN 6090 <sup>6</sup>	IFEG <sup>3</sup> & BD240-1 <sup>4</sup>	NB <sup>3</sup>	IFEG <sup>3</sup> & BD240-1 <sup>4</sup>	NB <sup>3</sup>	Fys. br. <sup>7</sup>	Fys. br. <sup>7</sup>
1 woonfunctie	780	780	948		870	950	920	1085	970	1217	780	870
slaapkamer				630								
woonkamer				510								
2 bijeenkomstfunctie											zie tabel A.2	zie tabel A.2
theater, bioscoop	300		365			350		417		468		
3 celfunctie											-	-
4 gezondheidszorg	230	230	280		350	300	440	320	520	359	230	350
opslag		2000			3000		3700		4400			
slaapkamer				80								
5 industriefunctie		300			470		590		720		<sup>(8)</sup>	<sup>(8)</sup>
industriefunctie met opslag (brandbaar, <150 kg/m <sup>2</sup> )		1180			1800		2240		2690			
6 kantoorfunctie		420			570	500	670			760	420	570
technische kantoren				720								
administratieve kantoren				640								
7 logiesfunctie											420 <sup>(9)</sup>	511 <sup>(9)</sup>
hotel (standaard)	420		511			500		584		655		
hotel (slaapkamer)	310	310	377	420	400	400	460	431	510	484		
8 onderwijsfunctie	285	285	347		360	350	410	397	450	445	285	360
basisonderwijs				370								
middelbaar onderwijs				400								
hoger onderwijs				260								
9 sportfunctie											-	-
10 winkelfunctie											zie tabel A.2	zie tabel A.2
bibliotheek	1500	1500	1824		2250	1800	2550	2087		2340		
winkelcentrum	600	600	730		900	750	1100	835	1300	936		
11 overige gebruiksfunctie											zie tabel A.2	zie tabel A.2
transportgebouw (publieke ruimte)	100		122			150		139		156		

<sup>1</sup> NEN-EN 1991-1-2:2002

<sup>2</sup> Natuurlijk Brandconcept (2001)

<sup>3</sup> International Fire Engineering Guidelines (2005)

<sup>4</sup> BD 240-1:1997

<sup>5</sup> CIB W14 Workshop Report (1983)

<sup>6</sup> Ontwerpnorm NEN 6090:2006

<sup>7</sup> voorgestelde waarden Fysisch brandmodel

<sup>8</sup> zie Fire Load Density (1986), tabel A1.3.6 of Vuurbelasting in industriegebouwen (1997), hoofdstuk 2

<sup>9</sup> overgenomen van hotel (standaard) uit Natuurlijk Brandconcept (2001)

Tabel A.2: variabele vuurbelasting van enkele veel voorkomende gebouwtypen

gebruiksfunctie, gebouwtype	gemiddelde vuurbelasting [MJ/m <sup>2</sup> ]	80%-fractiel [MJ/m <sup>2</sup> ]
<b>2 bijeenkomstfunctie</b>		
bioscoop	300 <sup>(1)</sup>	
theater	300 <sup>(1)</sup>	
kinderopvang		370 <sup>(2)</sup>
<b>7 logiesfunctie</b>		
hotel (slaapkamer)	310 <sup>(3)</sup>	400 <sup>(3)</sup>
<b>10 winkelfunctie</b>		
bibliotheek	<sup>(4)</sup>	
bouwmarkt	600 <sup>(5)</sup>	
supermarkt	700 <sup>(1)</sup>	
kledingwinkel	600 <sup>(1)</sup>	
warenhuis	400 <sup>(1)</sup>	
schoenenwinkel	500 <sup>(1)</sup>	
<b>11 overige gebruiksfunctie</b>		
parkeergarage	200 <sup>(1)</sup>	
transportgebouw (publieke ruimte)	100 <sup>(6)</sup>	

<sup>1</sup> overgenomen uit Fire Load Density (1986), tabel A1.3.13

<sup>2</sup> overgenomen van basisonderwijs uit CIB W14 Workshop Report (1983)

<sup>3</sup> overgenomen uit Fire Load Density (1986)

<sup>4</sup> de in het Natuurlijk Brandconcept (2001) en International Fire Engineering Guidelines (2005) genoemde waarde is niet terug te vinden in het oorspronkelijke onderzoek (Fire Load Density, 1986); in Fire Load Density (1986) worden diverse hogere waarden genoemd

<sup>5</sup> overgenomen van meubeldistributie uit Fire Load Density (1986), tabel A1.3.13

<sup>6</sup> overgenomen uit Natuurlijk Brandconcept (2001)

Tabel A.3: Gemiddelde waarde van de variabele vuurbelasting per gebouwtype

Type of occupancies	Fabrication (MJ/m <sup>2</sup> )	Storage	Type of occupancies	Fabrication (MJ/m <sup>2</sup> )	Storage
Academy	300		Bookstore	1000	
Accumulator forwarding	800		Box mfg	1000	600
Accumulator mfg	400	800	Brick plant, burning	40	
Acetylene cylinder storage	700		Brick plant, clay preparation	40	
Acid plant	80		Brick plant, drying kiln with wooden grates	1000	
Adhesive mfg	1000	3400	Brick plant, drying room with metal grates	40	
Administration	800		Brick plant, drying room with wooden grates	400	
Adsorbent plant for combustible vapours	> 1700		Brick plant, pressing	200	
Aircraft hangar	200		Briquette factories	1600	
Airplane factory	200		Broom mfg	700	400
Aluminium mfg	40		Brush mfg	700	800
Aluminium processing	200		Butter mfg	700	4000
Ammunition mfg	Spez.		Cabinet making (without woodyard)	600	
Animal food preparing, mfg	2000	3300	Cable mfg	300	600
Antique shop	700		Caf~	400	
Apparatus forwarding	700		Camera mfg	300	
Apparatus mfg	400		Candle mfg	1300	22400
Apparatus repair	600		Candy mfg	400	1500
Apparatus testing	200		Candy packing	800	
Arms mfg	300		Candy shop	400	
Arms sales	300		Cane products mfg	400	200
Artificial flower mfg	300	200	Canteen	300	
Artificial leather mfg	1000	1700	Car accessory sales	300	
Artificial leather processing	300		Car assembly plant	300	
Artificial silk mfg	300	1100	Car body repairing	150	
Artificial silk processing	210		Car paint shop	500	
Artificial stone mfg	40		Car repair shop	300	
Asylum	400		Car seat cover shop	700	
Authority office	800		Cardboard box mfg	800	2500
Awning mfg	300	1000	Cardboard mfg	300	4200
			Cardboard products mfg	800	2500
Bag mfg (jute, paper, plastic)	500		Carpenter shed	700	
Bakery	200		Carpet dyeing	500	
Bakery, sales	300		Carpet mfg	600	1700
Ball bearing mfg	200		Carpet store	800	
Bandage mfg	400		Cartwright's shop	500	
Bank, counters	300		Cast iron foundry	400	800
Bank, offices	800		Celluloid mfg	800	3400
Barrel mfg, wood	1000	800	Cement mfg	1000	
Basement, dwellings	900		Cement plant	40	
Basketware mfg	300	200	Cement products mfg	80	
Bed sheeting production	500	1000	Cheese factory	120	
Bedding plant	600		Cheese mfg (in boxes)	170	
Bedding shop	500		Cheese store	100	
Beer mfg (brewery)	80		Chemical plants (rough average)	300	1000
Beverage mfg, nonalcoholic	80		Chemist's shop	1000	
Bicycle assembly	200	400	Children's home	400	
Biscuit factories	200		China mfg	200	
Biscuit mfg	200		Chipboard finishing	800	
Bitumen preparation	800	3400	Chipboard pressing	100	
Blind mfg, venetian	800	300	Chocolate factory, intermediate storage	6000	
Blueprinting firm	400		Chocolate factory, packing	500	
Boarding school	300		Chocolate factory, tumbling treatment	1000	
Boat mfg	600		Chocolate factory, all other specialities	500	
Boiler house	200		Church	200	
Bookbinding	1000		Cider mfg (without crate storage)	200	

Type of occupancies	Fabrication (MJ/m <sup>2</sup> )	Storage	Type of occupancies	Fabrication (MJ/m <sup>2</sup> )	Storage
Cigarette plant	300				
Cinema	300				
Clay, preparing	50				
Cloakroom, metal wardrobe	80		Etching plant glass/metal	200	
Cloakroom, wooden wardrobe	400		Exhibition hall, cars including decoration		200
Cloth mfg	400		Exhibition hall, furniture including decoration	500	
Clothing plant	500		Exhibition hall, machines including decoration	80	
Clothing store	600		Exhibition of paintings including decoration	200	
Coal bunker	2500		Explosive Industry	4000	
Coal cellar		10500			
Cocoa processing	800		Fertilizer mfg	200	200
Coffee-extract mfg	300		Filling plant/barrels		
Coffee roasting	400		liquid filled and/or barrels	< 200	
Cold storage	2000		incombustible		
Composing room	400		liquid filled and/or barrels		
Concrete products mfg	100		combustible:		
Condiment mfg	50		Risk Class I	> 3400	
Congress hall	600		Risk Class II	> 3400	
Contractors		500	Risk Class III	> 3400	
Cooking-stove mfg	600		Risk Class IV	> 3400	
Coopering	600		Risk Class V	> 1700	
Cordage plant	300	600	(if higher, take into consideration combustibility of barrels)		
Cordage store	500	800	Filling plant/small casks		
Cork products mfg	500		liquid filled and casks incombustible	< 200	
			liquid filled and/or casks		
			combustible:		
Cosmetics mfg	300	500	Risk Class I	< 500	
Cotton mills	1200		Risk Class II	< 500	
Cotton wool mfg	300		Risk Class III	< 500	
Cover mfg	500		Risk Class IV	< 500	
Cutlery mfg (household)	200		Risk Class V	< 500	
Cutting-up shop, leather, artificial leather	300		(if higher, take into consideration combustibility of casks)		
Cutting-up shop, textiles	500				
Cutting-up shop, wood	700		Finishing plant, paper	500	
			Finishing plant, textile	300	
Dairy	200		Fire works mfg	Spez.	2000
Data processing	400		Flat	300	
Decoration studio	1200	2000	Floor covering mfg	500	6000
Dental surgeons laboratory	300		Floor covering store	1000	
Dentist's office	200		Flooring plaster mfg	600	
Department store	400		Flour products	800	
Distilling plant, combustible materials	200		Flower sales	80	
Distilling plant, incombustible materials	50		Fluorescent tube mfg	300	
Doctor's office	200				
Door mfg, wood	800	1800	Foamed plastics fabrication	3000	2500
Dressing, textiles	200		Foamed plastics processing	600	800
Dressing, paper	700		Food forwarding	1000	
Dressmaking shop	300		Food store	700	
Dry-cell battery	400	600	Forge	80	
			Forwarding, appliances partly made of plastic	700	
Dry cleaning	300		Forwarding, beverage	300	
Dyeing plant	500		Forwarding, cardboard goods	600	
			Forwarding, food	1000	
Edible fat forwarding	900		Forwarding, furniture	600	
Edible fat mfg	1000	18900	Forwarding, glassware	700	
Electric appliance mfg	400		Forwarding, plastic products	1000	
Electric appliance repair	500		Forwarding, printed matters	1700	
Electric motor mfg	300		Forwarding, textiles	600	
Electrical repair shop	600		Forwarding, tinware	200	
Electrical supply storage H < 3 m	1200		Forwarding, varnish, polish	1300	
Electro Industry	600		Forwarding, woodware (small)	600	
Electronic device mfg	400		Foundry (metal)	40	
Electronic device repair	500		Fur, sewing	400	
Embroidery	300		Fur store	200	

Type of occupancies	Fabrication (MJ/m <sup>2</sup> )	Storage	Type of occupancies	Fabrication (MJ/m <sup>2</sup> )	Storage
Furniture exhibition	500		Laundry	200	
Furniture mfg (wood)	600		Leather goods sales	700	
Furniture polishing	500		Leather product mfg	500	
Furniture store	400		Leather, tanning, dressing, etc.	400	
Furrier	500		Library	2000	2000
			Lingerie mfg	400	
Galvanic station	200		Liqueur mfg	400	800
Gambling place	150		Liquor mfg	500	
Glass blowing plant	200		Liquor store	700	
Glass factory	100		Loading ramp including goods (rough average)	800	
			Lumber room for miscellaneous goods	500	
Glass mfg	100		Machinery mfg	200	
Glass painting	300		Match plant	300	800
Glass processing	200		Mattress mfg	500	500
Glassware mfg	200		Meat shop	50	
Glassware store	200		Mechanical workshop	200	
Glazier's workshop	700		Metal goods mfg	200	
Gold plating (of metals)	800	3400	Metal grinding	80	
Goldsmith's workshop	200		Metal working (general)	200	
Grainmill, without storage	400	13000	Milk, condensed, evaporated, mfg	200	9000
Gravestone carving	50		Milk, powdered, mfg	200	10500
Graphic workshop	1000		Milling work, metal	200	
Greengrocer's shop	200		Mirror mfg	100	
			Motion-picture studio	300	
Hairdressing shop	300		Motor cycle assembly	300	
Hardening plant	400		Museum	300	
Hardware mfg	200		Musical instrument sales	281	
Hardware store	300				
Hat mfg	500		News-stand	1300	
Hat store	500				
Heating equipment room, wood or coal firing	300		Nitrocellulose mfg	Spez.	1100
Heat sealing of plastics	800		Nuclear research	2100	
High-rise office building	800		Nursery school	300	
Homes	500				
Homes for aged	400		Office, business	800	
Hosiery mfg	300	1000	Office, engineering	600	
Hospital	300		Office furniture	700	
Hotel	300		Office, machinery mfg	300	
Household appliances, mfg	300	200	Office machine sales	300	
Household appliances, sales	300		Oilcloth mfg	700	1300
			Oilcloth processing	700	2100
Ice cream plant (including packaging)	100				
Incandescent lamp plant	40		Optical instrument mfg	200	200
Injection moulded parts mfg (metal)	80				
Injection moulded parts mfg (plastic)	500		Packing, food	800	
Institution building	500				
Ironing	500		Packing, incombustible goods	400	
			Packing material Industry	1600	3000
Jewelry mfg	200		Packing, printed matters	1700	
Jewelry shop	300		Packing, textiles	600	
Joinery	700		Packing, all other combustible goods	600	
Joiners (machine room)	500		Paint and varnish, mfg	4200	
Joiners (workbench)	700		Paint and varnish, mixing plant	2000	
Jute, weaving	400	1300	Paint and varnish shop	1000	
			Painter's workshop	500	
Laboratory, bacteriological	200		Paint shop (cars, machines, etc.)	200	
Laboratory, chemical	500		Paint shop (furniture etc.)	400	
Laboratory, electric, electronic	200		Paper mfg	200	10000
Laboratory, metallurgical	200		Paper processing	800	1100
Laboratory, physics	200		Parking building	200	
Lacquer forwarding	1000		Parquetry mfg	2000	1200
Lacquer mfg	500	2500	Perambulator mfg	300	800
Large metal constructions	80		Perambulator shop	300	
			Perfume sale	400	

Type of occupancies	Fabrication (MJ/m <sup>2</sup> )	Storage	Type of occupancies	Fabrication (MJ/m <sup>2</sup> )	Storage
Pharmaceuticals, packing	300	800	Shoe factory, forwarding	600	
Pharmaceutical mfg	300	800	Shoe factory, mfg	500	
Pharmacy (including storage)	800		Shoe polish mfg	800	2100
Photographic laboratory	100		Shoe repair with manufacture	700	
Photographic store	300		Shoe store	500	
Photographic studio	300		Shutter mfg	1000	
Picture frame mfg	300		Silk spinning (natural silk)	300	
Plaster product mfg	80		Silk weaving (natural silk)	300	
Plastic floor tile mfg	800		Silverwares	400	
Plastic mfg	2000	5900	Ski mfg	400	1700
Plastic processing	600		Slaughter house	40	
Plastic products fabrication	600		Soap mfg	200	4200
Plumber's workshop	100		Soda mfg	40	
Plywood mfg	800	2900	Soldering	300	
Polish mfg	1700		Solvent distillation	200	
Post office	400		Spinning mill excluding garnetting	300	
Potato, flaked, mfg	200		Sporting goods store	800	
Pottery plant	200		Spray painting, metal goods	300	
Power station	600		Spray painting, wood products	500	
Precious stone, cutting etc.	80		Stationery store	700	
Precision instrument mfg			Steel furniture mfg	300	
(containing plastic parts)	200		Stereotype plate mfg	200	
(without plastic parts)	100		Stone masonry	40	
Precision mechanics plant	200		Storeroom (workshop storerooms etc.)	1200	
Pressing, metal	100		Synthetic fibre mfg	400	
Pressing, plastics, leather etc.	400		Synthetic fibre processing	400	
Preparation briquette production			Synthetic resin mfg	3400	4200
Printing, composing room	300				
Printing ink mfg	700	3000	Tar coated paper mfg	1700	
Printing, machine hall	400		Tar preparation	800	
Printing office	1000		Telephone apparatus mfg	400	200
			Telephone exchange	80	
Radio and TV mfg	400		Telephone exchange mfg	100	
Radio and TV sales	500		Test room, electric appliances	200	
Radio studio	300		Test room, machinery	100	
Railway car mfg	200		Test room, textiles	300	
Railway station	800		Theatre	300	
Railway workshop	800		Tin can mfg	100	
Record player mfg	300	200	Tinned goods mfg	40	
Record repository, documents see also storage	4200		Tinware mfg	120	
Refrigerator mfg	1000	300	Tire mfg	700	1800
Relay mfg	400		Tobacco products mfg	200	2100
Repair shop, general	400		Tobacco shop	500	
Restaurant	300		Tool mfg	200	
Retouching department	300		Toy mfg (combustible)	100	
Rubber goods mfg	600	5000	Toy mfg (incombustible)	200	
Rubber goods store	800		Toy store	500	
Rubber processing	600	5000	Tractor mfg	300	
			Transformer mfg	300	
Saddlery mfg	300		Transformer winding	600	
Safe mfg	80		Travel agency	400	
Salad oil forwarding	900		Turnery (wood working)	500	
Salad oil mfg	1000	18900	Turning section	200	
Sawmill (without woodyard)	400		TV studio	300	
Scale mfg	400		Twisting shop	250	
School	300				
Scrap recovery	800		Umbrella mfg	300	400
Seedstore	600		Umbrella store	300	
Sewing machine mfg	300		Underground garage, private	> 200	
Sewing machine store	300		Underground garage, public	< 200	
Sheet mfg	100		Upholstering plant	500	



Type of occupancies	Fabrication (MJ/m <sup>2</sup> )	Storage
Vacation home	500	
Varnishing, appliances	80	
Varnishing, paper	80	
Vegetable, dehydrating	1000	400
Vehicle mfg, assembly	400	
Veneering	500	2900
Veneer mfg	800	4200
Vinegar mfg	80	100
Vulcanizing plant (without storage)	1000	
Waffle mfg	300	1700
Warping department	250	
Washing agent mfg	300	200
Washing machine mfg	300	40
Watch assembling	300	40
Watch mechanism mfg	40	
Watch repair shop	300	
Watch sales	300	
Water closets	~ 0	
Wax products forwarding	2100	
Wax products mfg	1300	2100
Weaving mill (without carpets)	300	
Welding shop (metal)	80	
Winding room	400	
Winding, textile fibres	600	
Window glass mfg	700	
Window mfg (wood)	800	
Wine cellar	20	
Wine merchant's shop	200	
Wire drawing	80	
Wire factory	800	
Wood carving	700	
Wood drying plant	800	
Wood grinding	200	
Wood pattern-making shop	600	
Wood preserving plant	3000	
Youth hostel	300	



## **Bijlage B Branduitbreidingsnelheid (gebruiksfuncties)**



Tabel B.1: branduitbreidingsnelheid

gebruiksfunctie	NEN 1991-1-2 <sup>1</sup>		Natuurlijk Brandconcept <sup>2</sup>		Fysisch brandmodel <sup>3</sup>	Fysisch brandmodel <sup>3</sup>
	snellheid [-]	t <sub>a</sub> [s]	snellheid [-]	t <sub>a</sub> [s]	snellheid [-]	t <sub>a</sub> [s]
1 woonfunctie	matig	300	matig	300	matig <sup>4</sup>	300 <sup>4</sup>
2 bijeenkomstfunctie						
theater, bioscoop	snell	150			snell <sup>5</sup>	150 <sup>5</sup>
museum (schilderijen)			traag	600	traag <sup>6</sup>	600 <sup>6</sup>
3 celfunctie						
4 gezondheidszorg						
slaapkamer	matig	300			matig <sup>5</sup>	300 <sup>5</sup>
5 industriefunctie						
opslag: slecht brandbaar of kleine hoeveelheden			traag	600	traag <sup>6</sup>	600 <sup>6</sup>
opslag: katoen, polyester, veren matrassen			matig	300	matig <sup>6</sup>	300 <sup>6</sup>
opslag: posterijen, kunststofschuim, houtopslag			snell	150	snell <sup>6</sup>	150 <sup>6</sup>
opslag: alcohol, gestoffeerde meubels			ultra snell	75	ultra snell <sup>6</sup>	75 <sup>6</sup>
chemische fabriek			ultra snell	75	ultra snell <sup>6</sup>	75 <sup>6</sup>
6 kantoorfunctie	matig	300	matig	300	matig <sup>4</sup>	300 <sup>4</sup>
7 logiesfunctie						
hotel (slaapkamer)	matig	300	matig	300	matig <sup>4</sup>	300 <sup>4</sup>
hotel (receptie)			matig	300	matig <sup>6</sup>	300 <sup>6</sup>
8 onderwijsfunctie						
klaslokaal	matig	300			matig <sup>5</sup>	300 <sup>5</sup>
9 sportfunctie						
10 winkelfunctie			snell	150	snell <sup>6</sup>	150 <sup>6</sup>
bibliotheek	snell	150			snell <sup>5</sup>	150 <sup>5</sup>
winkelcentrum	snell	150			snell <sup>5</sup>	150 <sup>5</sup>
11 overige gebruiksfunctie						
transportgebouw (publieke ruimte)	traag	600			traag <sup>5</sup>	600 <sup>5</sup>

<sup>1</sup> NEN-EN 1991-1-2:2002

<sup>2</sup> Natuurlijk Brandconcept (2001)

<sup>3</sup> voorgestelde waarden Fysisch brandmodel

<sup>4</sup> overgenomen uit NEN-EN 1991-1-2:2002 én Natuurlijk Brandconcept (2001)

<sup>5</sup> overgenomen uit NEN-EN 1991-1-2:2002

<sup>6</sup> overgenomen uit Natuurlijk Brandconcept (2001)



## **Bijlage C    Referentie vermogensdichtheid (gebruiksfuncties)**





Tabel C.1: referentie vermogensdichtheid

gebruiksfunctie	Fysisch brandmodel	Fysisch brandmodel
	klasse [-]	RHR [kW/m <sup>2</sup> ]
1 woonfunctie	Normaal	250
2 bijeenkomstfunctie		
theater, bioscoop	Hoog	500
museum (schilderijen)	Normaal	250
3 celfunctie		
4 gezondheidszorg		
slaapkamer	Normaal	250
5 industriefunctie		
opslag: per m opslaghoogte	Hoog tot Zeer hoog	500 per m hoogte
opslag: bulkopslag fijnkorrelig, vuurbelasting: > 5700 MJ/m <sup>2</sup>	Laag	100
6 kantoorfunctie	Normaal	250
7 logiesfunctie		
hotel (slaapkamer)	Normaal	250
hotel (receptie)	Normaal	250
8 onderwijsfunctie		
klaslokaal	Normaal	250
9 sportfunctie		
10 winkelfunctie		
bibliotheek	Hoog	500
winkelcentrum	Normaal	250
winkel (detailhandel)	Hoog	500
11 overige gebruiksfunctie		
transportgebouw (publieke ruimte)	Normaal	250



## **Bijlage D    Probabilistisch rekenen**



## WERKWIJZE TABELLEN VOOR BEPALING VAN DE GLOBALE RISICOFACITOR

Tabel 1; Bepaal de kans  $p_{fi}$  op een ernstige brand

Tabel 2; Bepaal het quotiënt  $p_t/p_{fi}$  ( $=p_{t,fi}$ )

Tabel 3; Bepaal de betrouwbaarheidsindex  $\beta_{fi}$

Tabel 4; Bepaal de globale risicofactor  $\gamma_{qf}$

**TABEL P<sub>fi,55</sub>**

Afi [m <sup>2</sup> ]	Pfi	sprinkler	sprinkler 1 watertoev.	sprinkler 2 watertoev.	detectie (warmte)	detectie (rook)	bedrijfsbrandw.	overheidsbrandw.	overheidsbrandw. warmtedetectie	overheidsbrandw. rookdetectie	overheidsbrandw. warmtedetectie aut.doormelding	overheidsbrandw. rookdetectie aut.doormelding	sprinkler overheidsbrandw. warmtedetectie	sprinkler overheidsbrandw. rookdetectie	sprinkler overheidsbrandw. warmtedetectie aut.doormelding	sprinkler overheidsbrandw. rookdetectie aut.doormelding
1	2.20E-05	4.40E-07	2.20E-07	1.10E-07	5.50E-06	1.38E-06	4.40E-07	2.20E-06	5.50E-07	1.38E-07	1.38E-07	3.44E-08	1.10E-08	2.75E-09	2.75E-09	6.88E-10
25	5.50E-04	1.10E-05	5.50E-06	2.75E-06	1.38E-04	3.44E-05	1.10E-05	5.50E-05	1.38E-05	3.44E-06	3.44E-06	8.59E-07	2.75E-07	6.88E-08	6.88E-08	1.72E-08
50	1.10E-03	2.20E-05	1.10E-05	5.50E-06	2.75E-04	6.88E-05	2.20E-05	1.10E-04	2.75E-05	6.88E-06	6.88E-06	1.72E-06	5.50E-07	1.38E-07	1.38E-07	3.44E-08
75	1.65E-03	3.30E-05	1.65E-05	8.25E-06	4.13E-04	1.03E-04	3.30E-05	1.65E-04	4.13E-05	1.03E-05	1.03E-05	2.58E-06	8.25E-07	2.06E-07	2.06E-07	5.16E-08
100	2.20E-03	4.40E-05	2.20E-05	1.10E-05	5.50E-04	1.38E-04	4.40E-05	2.20E-04	5.50E-05	1.38E-05	1.38E-05	3.44E-06	1.10E-06	2.75E-07	2.75E-07	6.88E-08
125	2.75E-03	5.50E-05	2.75E-05	1.38E-05	6.88E-04	1.72E-04	5.50E-05	2.75E-04	6.88E-05	1.72E-05	1.72E-05	4.30E-06	1.38E-06	3.44E-07	3.44E-07	8.59E-08
150	3.30E-03	6.60E-05	3.30E-05	1.65E-05	8.25E-04	2.06E-04	6.60E-05	3.30E-04	8.25E-05	2.06E-05	2.06E-05	5.16E-06	1.65E-06	4.13E-07	4.13E-07	1.03E-07
175	3.85E-03	7.70E-05	3.85E-05	1.93E-05	9.63E-04	2.41E-04	7.70E-05	3.85E-04	9.63E-05	2.41E-05	2.41E-05	6.02E-06	1.93E-06	4.81E-07	4.81E-07	1.20E-07
200	4.40E-03	8.80E-05	4.40E-05	2.20E-05	1.10E-03	2.75E-04	8.80E-05	4.40E-04	1.10E-04	2.75E-05	2.75E-05	6.88E-06	2.20E-06	5.50E-07	5.50E-07	1.38E-07
225	4.95E-03	9.90E-05	4.95E-05	2.48E-05	1.24E-03	3.09E-04	9.90E-05	4.95E-04	1.24E-04	3.09E-05	3.09E-05	7.73E-06	2.48E-06	6.19E-07	6.19E-07	1.55E-07
250	5.50E-03	1.10E-04	5.50E-05	2.75E-05	1.38E-03	3.44E-04	1.10E-04	5.50E-04	1.38E-04	3.44E-05	3.44E-05	8.59E-06	2.75E-06	6.88E-07	6.88E-07	1.72E-07
275	6.05E-03	1.21E-04	6.05E-05	3.03E-05	1.51E-03	3.78E-04	1.21E-04	6.05E-04	1.51E-04	3.78E-05	3.78E-05	9.45E-06	3.03E-06	7.56E-07	7.56E-07	1.89E-07
300	6.60E-03	1.32E-04	6.60E-05	3.30E-05	1.65E-03	4.13E-04	1.32E-04	6.60E-04	1.65E-04	4.13E-05	4.13E-05	1.03E-05	3.30E-06	8.25E-07	8.25E-07	2.06E-07
325	7.15E-03	1.43E-04	7.15E-05	3.58E-05	1.79E-03	4.47E-04	1.43E-04	7.15E-04	1.79E-04	4.47E-05	4.47E-05	1.12E-05	3.58E-06	8.94E-07	8.94E-07	2.23E-07
350	7.70E-03	1.54E-04	7.70E-05	3.85E-05	1.93E-03	4.81E-04	1.54E-04	7.70E-04	1.93E-04	4.81E-05	4.81E-05	1.20E-05	3.85E-06	9.63E-07	9.63E-07	2.41E-07
375	8.25E-03	1.65E-04	8.25E-05	4.13E-05	2.06E-03	5.16E-04	1.65E-04	8.25E-04	2.06E-04	5.16E-05	5.16E-05	1.29E-05	4.13E-06	1.03E-06	1.03E-06	2.58E-07
400	8.80E-03	1.76E-04	8.80E-05	4.40E-05	2.20E-03	5.50E-04	1.76E-04	8.80E-04	2.20E-04	5.50E-05	5.50E-05	1.38E-05	4.40E-06	1.10E-06	1.10E-06	2.75E-07
425	9.35E-03	1.87E-04	9.35E-05	4.68E-05	2.34E-03	5.84E-04	1.87E-04	9.35E-04	2.34E-04	5.84E-05	5.84E-05	1.46E-05	4.68E-06	1.17E-06	1.17E-06	2.92E-07
450	9.90E-03	1.98E-04	9.90E-05	4.95E-05	2.48E-03	6.19E-04	1.98E-04	9.90E-04	2.48E-04	6.19E-05	6.19E-05	1.55E-05	4.95E-06	1.24E-06	1.24E-06	3.09E-07
475	1.05E-02	2.09E-04	1.05E-04	5.23E-05	2.61E-03	6.53E-04	2.09E-04	1.05E-03	2.61E-04	6.53E-05	6.53E-05	1.63E-05	5.23E-06	1.31E-06	1.31E-06	3.27E-07
500	1.10E-02	2.20E-04	1.10E-04	5.50E-05	2.75E-03	6.88E-04	2.20E-04	1.10E-03	2.75E-04	6.88E-05	6.88E-05	1.72E-05	5.50E-06	1.38E-06	1.38E-06	3.44E-07
525	1.16E-02	2.31E-04	1.16E-04	5.78E-05	2.89E-03	7.22E-04	2.31E-04	1.16E-03	2.89E-04	7.22E-05	7.22E-05	1.80E-05	5.78E-06	1.44E-06	1.44E-06	3.61E-07
550	1.21E-02	2.42E-04	1.21E-04	6.05E-05	3.03E-03	7.56E-04	2.42E-04	1.21E-03	3.03E-04	7.56E-05	7.56E-05	1.89E-05	6.05E-06	1.51E-06	1.51E-06	3.78E-07
575	1.27E-02	2.53E-04	1.27E-04	6.33E-05	3.16E-03	7.91E-04	2.53E-04	1.27E-03	3.16E-04	7.91E-05	7.91E-05	1.98E-05	6.33E-06	1.58E-06	1.58E-06	3.95E-07
600	1.32E-02	2.64E-04	1.32E-04	6.60E-05	3.30E-03	8.25E-04	2.64E-04	1.32E-03	3.30E-04	8.25E-05	8.25E-05	2.06E-05	6.60E-06	1.65E-06	1.65E-06	4.13E-07
625	1.38E-02	2.75E-04	1.38E-04	6.88E-05	3.44E-03	8.59E-04	2.75E-04	1.38E-03	3.44E-04	8.59E-05	8.59E-05	2.15E-05	6.88E-06	1.72E-06	1.72E-06	4.30E-07
650	1.43E-02	2.86E-04	1.43E-04	7.15E-05	3.58E-03	8.94E-04	2.86E-04	1.43E-03	3.58E-04	8.94E-05	8.94E-05	2.23E-05	7.15E-06	1.79E-06	1.79E-06	4.47E-07
675	1.49E-02	2.97E-04	1.49E-04	7.43E-05	3.71E-03	9.28E-04	2.97E-04	1.49E-03	3.71E-04	9.28E-05	9.28E-05	2.32E-05	7.43E-06	1.86E-06	1.86E-06	4.64E-07
700	1.54E-02	3.08E-04	1.54E-04	7.70E-05	3.85E-03	9.63E-04	3.08E-04	1.54E-03	3.85E-04	9.63E-05	9.63E-05	2.41E-05	7.70E-06	1.93E-06	1.93E-06	4.81E-07
725	1.60E-02	3.19E-04	1.60E-04	7.98E-05	3.99E-03	9.97E-04	3.19E-04	1.60E-03	3.99E-04	9.97E-05	9.97E-05	2.49E-05	7.98E-06	1.99E-06	1.99E-06	4.98E-07
750	1.65E-02	3.30E-04	1.65E-04	8.25E-05	4.13E-03	1.03E-03	3.30E-04	1.65E-03	4.13E-04	1.03E-04	1.03E-04	2.58E-05	8.25E-06	2.06E-06	2.06E-06	5.16E-07
775	1.71E-02	3.41E-04	1.71E-04	8.53E-05	4.26E-03	1.07E-03	3.41E-04	1.71E-03	4.26E-04	1.07E-04	1.07E-04	2.66E-05	8.53E-06	2.13E-06	2.13E-06	5.33E-07
800	1.76E-02	3.52E-04	1.76E-04	8.80E-05	4.40E-03	1.10E-03	3.52E-04	1.76E-03	4.40E-04	1.10E-04	1.10E-04	2.75E-05	8.80E-06	2.20E-06	2.20E-06	5.50E-07
825	1.82E-02	3.63E-04	1.82E-04	9.08E-05	4.54E-03	1.13E-03	3.63E-04	1.82E-03	4.54E-04	1.13E-04	1.13E-04	2.84E-05	9.08E-06	2.27E-06	2.27E-06	5.67E-07
850	1.87E-02	3.74E-04	1.87E-04	9.35E-05	4.68E-03	1.17E-03	3.74E-04	1.87E-03	4.68E-04	1.17E-04	1.17E-04	2.92E-05	9.35E-06	2.34E-06	2.34E-06	5.84E-07
875	1.93E-02	3.85E-04	1.93E-04	9.63E-05	4.81E-03	1.20E-03	3.85E-04	1.93E-03	4.81E-04	1.20E-04	1.20E-04	3.01E-05	9.63E-06	2.41E-06	2.41E-06	6.02E-07
900	1.98E-02	3.96E-04	1.98E-04	9.90E-05	4.95E-03	1.24E-03	3.96E-04	1.98E-03	4.95E-04	1.24E-04	1.24E-04	3.09E-05	9.90E-06	2.48E-06	2.48E-06	6.19E-07
925	2.04E-02	4.07E-04	2.04E-04	1.02E-04	5.09E-03	1.27E-03	4.07E-04	2.04E-03	5.09E-04	1.27E-04	1.27E-04	3.18E-05	1.02E-05	2.54E-06	2.54E-06	6.36E-07
950	2.09E-02	4.18E-04	2.09E-04	1.05E-04	5.23E-03	1.31E-03	4.18E-04	2.09E-03	5.23E-04	1.31E-04	1.31E-04	3.27E-05	1.05E-05	2.61E-06	2.61E-06	6.53E-07
975	2.15E-02	4.29E-04	2.15E-04	1.07E-04	5.36E-03	1.34E-03	4.29E-04	2.15E-03	5.36E-04	1.34E-04	1.34E-04	3.35E-05	1.07E-05	2.68E-06	2.68E-06	6.70E-07
1000	2.20E-02	4.40E-04	2.20E-04	1.10E-04	5.50E-03	1.38E-03	4.40E-04	2.20E-03	5.50E-04	1.38E-04	1.38E-04	3.44E-05	1.10E-05	2.75E-06	2.75E-06	6.88E-07
2000	4.40E-02	8.80E-04	4.40E-04	2.20E-04	1.10E-02	2.75E-03	8.80E-04	4.40E-03	1.10E-03	2.75E-04	2.75E-04	6.88E-05	2.20E-05	5.50E-06	5.50E-06	1.38E-06
3000	6.60E-02	1.32E-03	6.60E-04	3.30E-04	1.65E-02	4.13E-03	1.32E-03	6.60E-03	1.65E-03	4.13E-04	4.13E-04	1.03E-04	3.30E-05	8.25E-06	8.25E-06	2.06E-06
4000	8.80E-02	1.76E-03	8.80E-04	4.40E-04	2.20E-02	5.50E-03	1.76E-03	8.80E-03	2.20E-03	5.50E-04	5.50E-04	1.38E-04	4.40E-05	1.10E-05	1.10E-05	2.75E-06
5000	1.10E-01	2.20E-03	1.10E-03	5.50E-04	2.75E-02	6.88E-03	2.20E-03	1.10E-02	2.75E-03	6.88E-04	6.88E-04	1.72E-04	5.50E-05	1.38E-05	1.38E-05	3.44E-06
6000	1.32E-01	2.64E-03	1.32E-03	6.60E-04	3.30E-02	8.25E-03	2.64E-03	1.32E-02	3.30E-03	8.25E-04	8.25E-04	2.06E-04	6.60E-05	1.65E-05	1.65E-05	4.13E-06
7000	1.54E-01	3.08E-03	1.54E-03	7.70E-04	3.85E-02	9.63E-03	3.08E-03	1.54E-02	3.85E-03	9.63E-04	9.63E-04	2.41E-04	7.70E-05	1.93E-05	1.93E-05	4.81E-06
8000	1.76E-01	3.52E-03	1.76E-03	8.80E-04	4.40E-02	1.10E-02	3.52E-03	1.76E-02	4.40E-03	1.10E-03	1.10E-03	2.75E-04	8.80E-05	2.20E-05	2.20E-05	5.50E-06
9000	1.98E-01	3.96E-03	1.98E-03	9.90E-04	4.95E-02	1.24E-02	3.96E-03	1.98E-02	4.95E-03	1.24E-03	1.24E-03	3.09E-04	9.90E-05	2.48E-05	2.48E-05	6.19E-06
10000	2.20E-01	4.40E-03	2.20E-03	1.10E-03	5.50E-02	1.38E-02	4.40E-03	2.20E-02	5.50E-03	1.38E-03	1.38E-03	3.44E-04	1.10E-04	2.75E-05	2.75E-05	6.88E-06









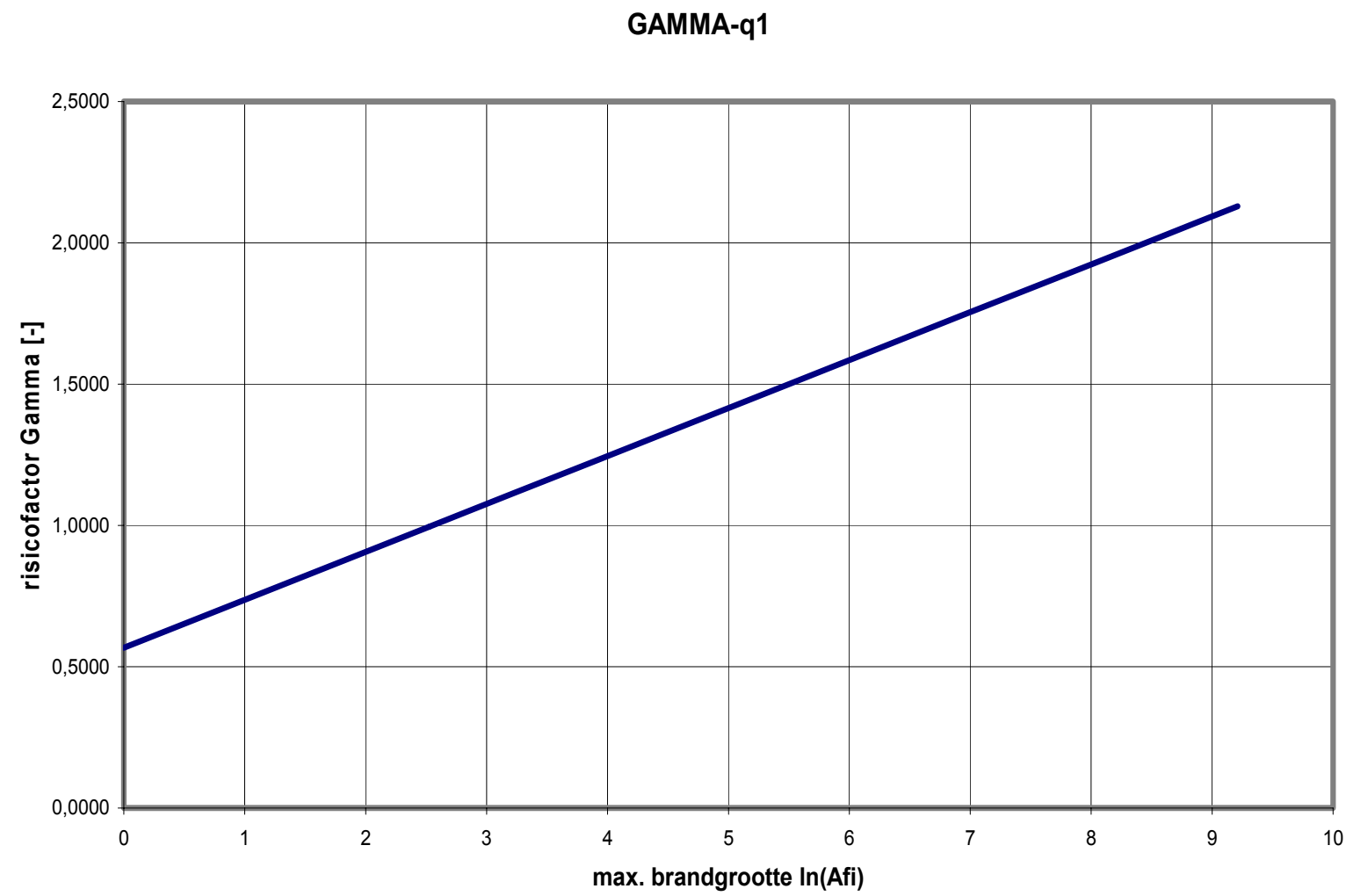


## **Bijlage E Risicofactoren gebouw, gebruik en brandveiligheidsmaatregelen**



TABEL GAMMA<sub>q1</sub>

Benaderingsformule (zie grafiek):  $\gamma_{q1} = 0,56694 + 0,16967 \cdot \ln(A_{fi})$



Afi [m2] GAMMA(q1)

1	0
<b>25</b>	<b>1.104256</b>
50	1.230404
75	1.301852
<b>100</b>	<b>1.351869</b>
125	1.390368
150	1.421664
175	1.448027
200	1.470801
225	1.490844
<b>250</b>	<b>1.508742</b>
275	1.524908
300	1.539647
325	1.553192
350	1.565719
375	1.577373
400	1.588266
425	1.598491
450	1.608126
475	1.617234
500	1.625871
525	1.634083
550	1.641909
575	1.649384
600	1.656538
625	1.663398
650	1.669987
675	1.676325
700	1.682431
725	1.68832
750	1.694009
775	1.69951
800	1.704835
825	1.709995
850	1.715
875	1.719858
900	1.724579
925	1.72917
950	1.733638
975	1.737989
<b>1000</b>	<b>1.742228</b>
2000	1.858083
3000	1.925687
4000	1.973594
<b>5000</b>	<b>2.010725</b>
6000	2.041045
<b>7000</b>	<b>2.06667</b>
8000	2.088859
9000	2.108425
<b>10000</b>	<b>2.125924</b>

**TABEL GAMMA<sub>q2</sub>**

Risicoklasse	$p_1$ [10 <sup>-7</sup> /(jaar.m <sup>2</sup> )]	$p_1/p_1, normaal$	Activeringsrisico $Y_{q2}$
<b>Laag</b>	0,4	10 <sup>-1</sup>	<b>0,78</b>
<b>Normaal</b>	4	10 <sup>0</sup>	<b>1,00</b>
<b>Hoog</b>	40	10 <sup>1</sup>	<b>1,22</b>
<b>Zeer hoog</b>	400	10 <sup>2</sup>	<b>1,44</b>
<b>Extreem hoog</b>	4000	10 <sup>3</sup>	<b>1,66</b>

Gebruik (voorbeelden)	Risicoklasse	Activeringsrisico $Y_{q2}$
Kunstgalerij, museum, zwembad	Laag	0,78
Normale gebruiksfuncties: Woning, kantoor, hotel, etc.	Normaal	1,00
Industriefunctie: papierindustrie	Hoog	1,22
Industriefunctie: Machinefabriek	Zeer hoog	1,44
Industriefunctie: Chemisch laboratorium, schilderwerkplaats	Extreem hoog	1,66
Industriefunctie: verffabriek		

**TABEL GAMMA<sub>n</sub>**

	Afi [m <sup>2</sup> ]	GAMMA(n)															
		sprinkler	sprinkler 1 watertoev.	sprinkler 2 watertoev.	detectie (warmte)	detectie (rook)	bedrijfsbrandw.	overheidsbrandw.	overheidsbrandw. warmtedetectie	overheidsbrandw. rookdetectie	overheidsbrandw. warmtedetectie aut.doormelding	overheidsbrandw. rookdetectie aut.doormelding	sprinkler overheidsbrandw. warmtedetectie	sprinkler overheidsbrandw. rookdetectie	sprinkler overheidsbrandw. warmtedetectie aut.doormelding	sprinkler overheidsbrandw. rookdetectie aut.doormelding	
kans op falen van de actieve maatregel →		0.02	0.02 0.5	0.02 0.25	0.25	0.0625	0.02	0.1		0.1 0.25	0.1 0.0625	0.1 0.25	0.1 0.0625	0.02 0.1 0.25	0.02 0.1 0.0625	0.02 0.1 0.25	0.02 0.1 0.0625
		<b>0.02</b>	<b>0.01</b>	<b>0.005</b>	<b>0.25</b>	<b>0.0625</b>	<b>0.02</b>	<b>0.1</b>		<b>0.025</b>	<b>0.00625</b>	<b>0.00625</b>	<b>0.0015625</b>	<b>0.0005</b>	<b>0.000125</b>	<b>0.000125</b>	<b>0.00003125</b>
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0.73138592	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0.787118492	0	0	0	0.602602702	0	0	0	0	0	0	0	0
75	0	0	0	0	0.806192125	0.552480147	0	0	0.656320718	0	0	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0.816836289	0.597422561	0	0	0.681188216	0	0	0	0	0	0	0	0
125	0	0	0	0	0.82394638	0.621650607	0	0	0.696559135	0	0	0	0	0	0	0	0
150	0	0	0	0	0.829171349	0.637672876	0	0	0.707362758	0.43390462	0	0	0	0	0	0	0
175	0.3880329	0	0	0	0.833245568	0.649379427	0.388032943	0.71554208	0.478609695	0	0	0	0	0	0	0	0
200	0.4440157	0	0	0	0.836553472	0.658466707	0.444015701	0.722043383	0.504109383	0	0	0	0	0	0	0	0
225	0.4722894	0	0	0	0.839318997	0.665815859	0.472289353	0.727391596	0.521844451	0	0	0	0	0	0	0	0
250	0.4914324	0	0	0	0.84168292	0.671938207	0.491432354	0.73190513	0.535305107	0	0	0	0	0	0	0	0
275	0.5058237	0	0	0	0.843738958	0.677154439	0.50582372	0.735790198	0.546059795	0	0	0	0	0	0	0	0
300	0.5172783	0	0	0	0.845552352	0.681677648	0.517278317	0.739187231	0.554953527	0	0	0	0	0	0	0	0
325	0.526737	0	0	0	0.847170177	0.68565593	0.52673697	0.742195736	0.562494049	0	0	0	0	0	0	0	0
350	0.5347532	0.35886526	0	0	0.848627409	0.689195971	0.534753226	0.744888542	0.569009916	0	0	0	0	0	0	0	0
375	0.5416809	0.39107209	0	0	0.849950686	0.692376923	0.541680884	0.747320397	0.574725534	0	0	0	0	0	0	0	0
400	0.5477598	0.41117727	0	0	0.851160722	0.695258965	0.547759781	0.749533394	0.579800654	0	0	0	0	0	0	0	0
425	0.5531599	0.42602985	0	0	0.852273911	0.69788882	0.55315987	0.751560531	0.584352804	0	0	0	0	0	0	0	0
450	0.5580058	0.43784513	0	0	0.853303434	0.700303415	0.558005831	0.753428104	0.588470804	0	0	0	0	0	0	0	0
475	0.5623917	0.4476539	0	0	0.854260035	0.70253239	0.562391724	0.755157379	0.592223294	0	0	0	0	0	0	0	0
500	0.5663902	0.4560291	0	0	0.855152573	0.704599867	0.56639017	0.756765776	0.595664337	0	0	0	0	0	0	0	0
525	0.5700583	0.46332544	0	0	0.855988436	0.706525712	0.570058338	0.758267725	0.598837211	0	0	0	0	0	0	0	0
550	0.573442	0.46977914	0	0	0.856773842	0.708326461	0.57344199	0.759675302	0.601777059	0.329366628	0.329366628	0	0	0	0	0	0
575	0.5765783	0.47555605	0	0	0.857514069	0.710016015	0.576578284	0.760998706	0.604512772	0.35543218	0.35543218	0	0	0	0	0	0
600	0.5794978	0.48077738	0	0	0.858213634	0.711606157	0.579497776	0.762246621	0.607068363	0.372382861	0.372382861	0	0	0	0	0	0
625	0.5822259	0.48553451	0	0	0.858876429	0.713106957	0.582225876	0.763426499	0.609463993	0.385204742	0.385204742	0	0	0	0	0	0
650	0.5847839	0.48989812	0	0	0.85950583	0.71452708	0.584783919	0.764544775	0.611716734	0.39559237	0.39559237	0	0	0	0	0	0
675	0.58719	0.49392403	0.30522506	0	0.860104783	0.715874032	0.587189984	0.765607042	0.61384116	0.404349493	0.404349493	0	0	0	0	0	0
700	0.5894595	0.49765712	0.33397059	0	0.860675871	0.717154355	0.58945951	0.76661819	0.615849803	0.411927816	0.411927816	0	0	0	0	0	0
725	0.5916058	0.50113402	0.3513227	0	0.861221373	0.718373779	0.59160578	0.767582516	0.617753509	0.418609308	0.418609308	0	0	0	0	0	0
750	0.5936403	0.50438498	0.36414593	0	0.861743308	0.719537352	0.593640294	0.768503815	0.619561724	0.424583101	0.424583101	0	0	0	0	0	0
775	0.5955731	0.5074353	0.37443142	0	0.862243472	0.72064954	0.595573074	0.769385454	0.621282718	0.429982882	0.429982882	0	0	0	0	0	0
800	0.5974129	0.51030636	0.38306277	0	0.862723468	0.721714313	0.597412897	0.770230431	0.622923772	0.434906995	0.434906995	0	0	0	0	0	0
825	0.5991675	0.51301635	0.39051783	0	0.863184737	0.722735213	0.599167493	0.771041429	0.624491322	0.439430093	0.439430093	0	0	0	0	0	0
850	0.6008437	0.51558091	0.39708748	0	0.863628572	0.723715412	0.600843701	0.771820857	0.625991087	0.443610301	0.443610301	0	0	0	0	0	0
875	0.6024476	0.51801355	0.40296339	0	0.864056143	0.724657764	0.602447597	0.772570882	0.627428167	0.447493836	0.447493836	0	0	0	0	0	0
900	0.6039846	0.52032602	0.40827927	0	0.864468508	0.725564841	0.603984603	0.773293465	0.628807128	0.451118094	0.451118094	0	0	0	0	0	0
925	0.6054596	0.52252864	0.41313255	0	0.86486663	0.726438971	0.605459577	0.773990384	0.630132073	0.454513792	0.454513792	0	0	0	0	0	0
950	0.6068769	0.52463047	0.41759661	0	0.865251384	0.727282267	0.606876882	0.774663252	0.631406701	0.457706482	0.457706482	0	0	0	0	0	0
975	0.6082405	0.52663953	0.42172828	0	0.865623571	0.72809665	0.608240456	0.775313543	0.632634357	0.460717668	0.460717668	0	0	0	0	0	0
1000	0.6095539	0.52856296	0.42557252	0	0.865983923	0.728883876	0.609553861	0.775942602	0.633818075	0.463565616	0.463565616	0	0	0	0	0	0
2000	0.6406915	0.57154713	0.49560615	0	0.875026041	0.748280771	0.640691513	0.791568959	0.662189761	0.521221806	0.521221806	0	0	0	0	0	0
3000	0.6557091	0.59100335	0.5222198	0	0.879690626	0.75806751	0.655709149	0.799531336	0.676045602	0.545022641	0.545022641	0.373501774	0	0	0	0	0
4000	0.6653422	0.60319295	0.53809546	0	0.882769349	0.764464064	0.665342246	0.804757936	0.684978345	0.55951517	0.55951517	0.409221517	0	0	0	0	0
5000	0.6723294	0.61192055	0.54918309	0	0.885039653	0.769153904	0.672329448	0.808599657	0.691476078	0.569739211	0.569739211	0.429856524	0	0	0	0	0
6000	0.6777616	0.61864914	0.55760045	0	0.886824209	0.772826074	0.67776162	0.811612831	0.696537198	0.577548688	0.577548688	0.444162878	0	0	0	0	0
7000	0.682178	0.62408711	0.56433138	0	0.888286615	0.775826886	0.682177979	0.814078144	0.700657416	0.583819686	0.583819686	0.454992511	0.271878159	0	0	0	0
8000	0.6858825	0.62862825	0.56990838	0	0.889520732	0.778353804	0.685882458	0.816156075	0.704117	0.589031521	0.589031521	0.463637603	0.312639003	0	0	0	0
9000	0.6890624	0.63251274	0.5746502	0	0.890585167	0.780529564	0.689062351	0.81794657	0.707089052	0.593473273	0.593473273	0.470791104	0.333950631	0	0	0	0
10000	0.6918408	0.63589729	0.57876183	0	0.891518856	0.782435401	0.691840804	0.819515891	0.709687586	0.597331919	0.597331919	0.476866204	0.348763441	0	0	0	0



[info@nieman.nl](mailto:info@nieman.nl)  
[www.nieman.nl](http://www.nieman.nl)

**Vestiging Utrecht**

Postbus 40217 - 3504 AA Utrecht  
Sophialaan 1A - 3542 AR Utrecht  
Tel.: 030 - 241 34 27  
Fax: 030 - 241 02 66

**Vestiging Zwolle**

Postbus 40147 - 8004 DC Zwolle  
Dr. Van Lookeren Campagneweg 16  
8025 BX Zwolle  
Tel.: 038 - 467 00 30  
Fax: 038 - 467 00 40

**Vestiging Rijswijk**

Postbus 1757 - 2280 DT Rijswijk  
Nassaukade 1 - 2281 ZA Rijswijk  
Tel.: 070 - 340 17 20  
Fax: 070 - 340 17 37

**Vestiging Eindhoven**

Postbus 1385 - 5602 BJ Eindhoven  
Verdunplein 17 - 5627 SZ Eindhoven  
Tel.: 040 - 264 58 20  
Fax: 040 - 264 58 21

