

Fire Safety Engineering met staal in Nederland

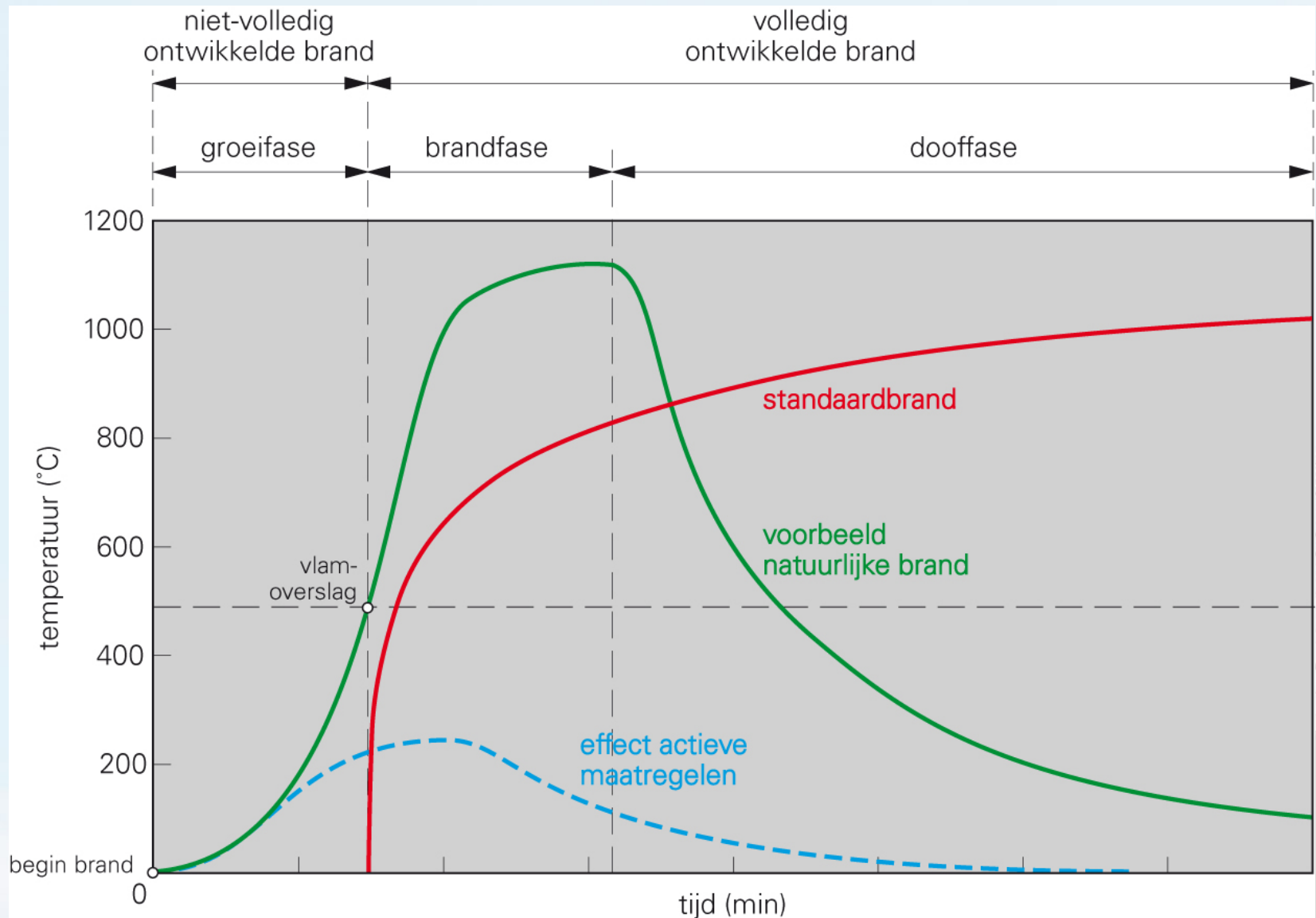
Ralph Hamerlinck (BmS/AH)

Introductie van FSE met de Eurocodes en Juridische context

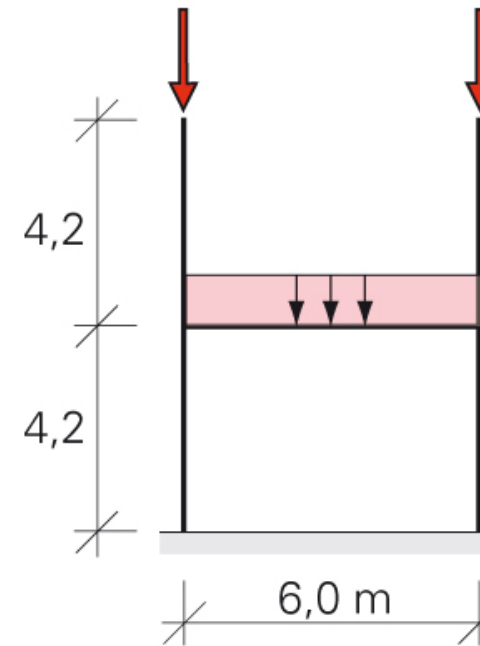
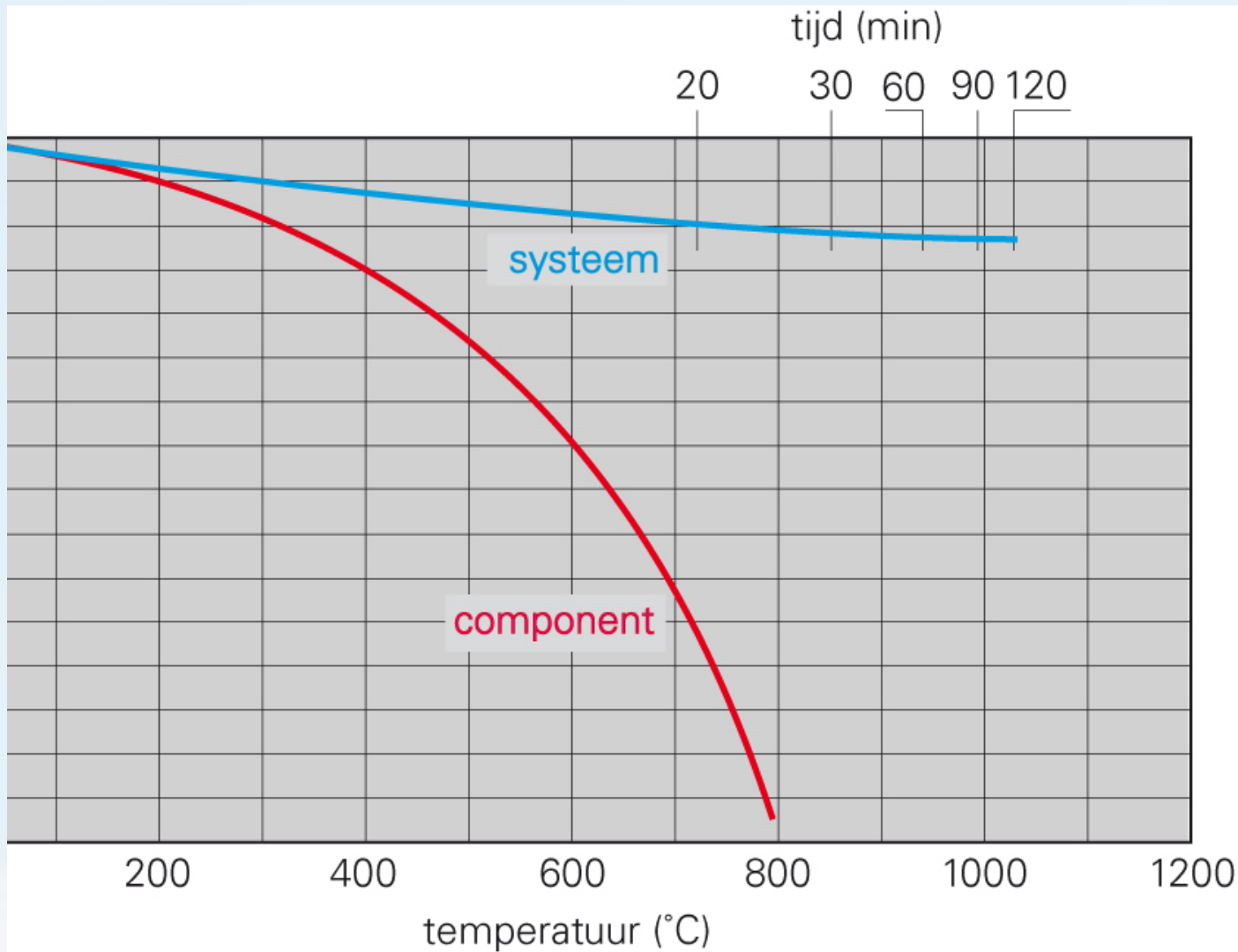
- **Introductie van FSE (Fire Safety Engineering)**
- **Bouwbesluit en eisen aan constructies**
- **Berekening constructies (Eurocode)**
 - Traditioneel brandontwerp
 - Fysisch brandmodel
 - Compartimentsbrand
 - Lokale brand
 - Globaal constructiegedrag
- **Juridische context**



Introductie van FSE (Fire Safety Engineering) - thermisch

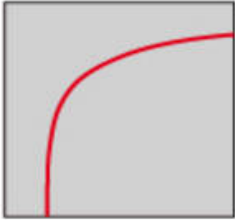
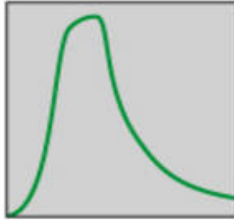

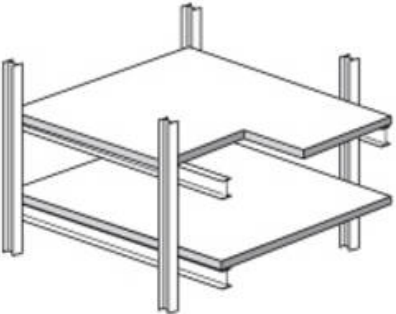


Introductie van FSE (Fire Safety Engineering) - mechanisch



Doorbuiging als functie van $T(t)$: component vs. systeem

Introductie van FSE (Fire Safety Engineering)

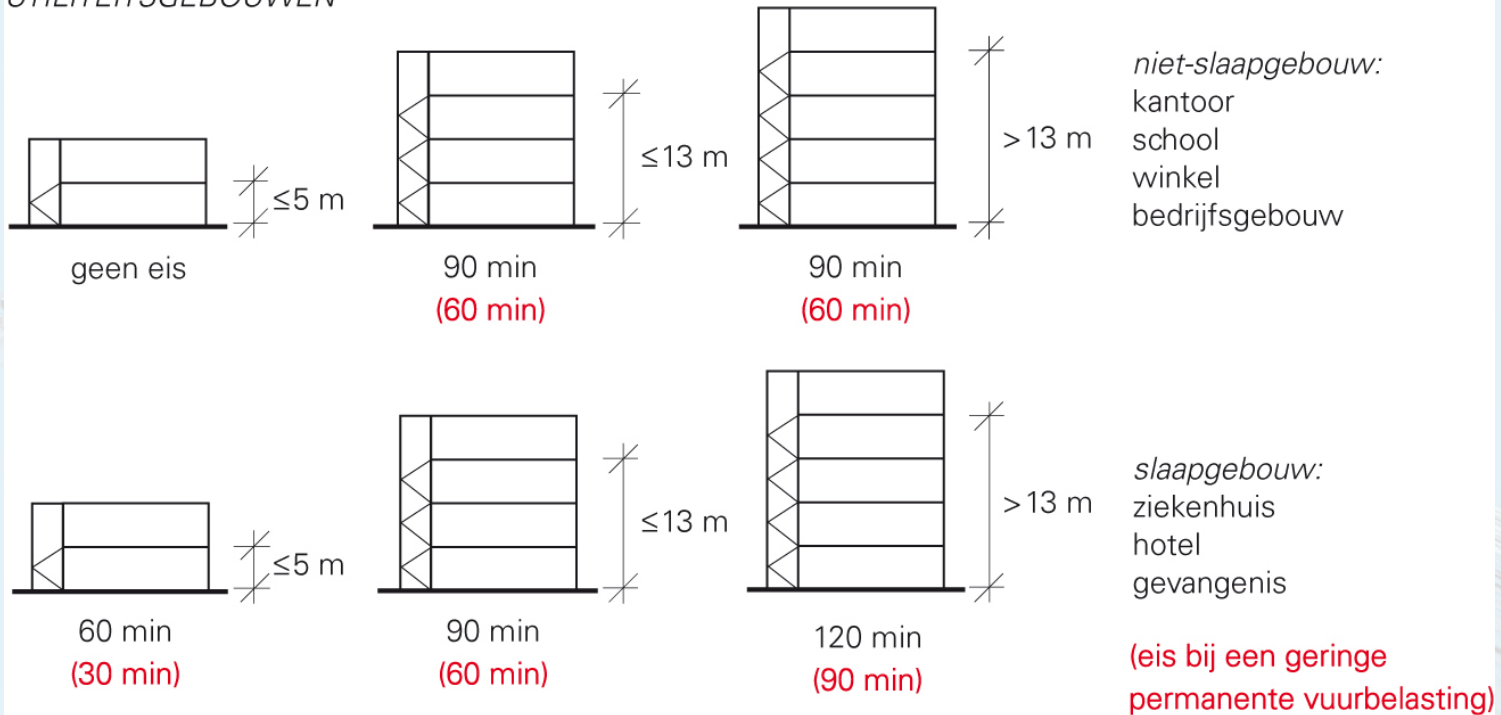
	 <p><i>standaardbrand</i></p>	 <p><i>natuurlijke brand</i></p>
 <p><i>component</i></p>	classificatie traditioneel	fire safety engineering
 <p><i>systeem</i></p>	fire safety engineering	fire safety engineering

- ✓ Introductie van FSE (Fire Safety Engineering)
 - **Bouwbesluit en eisen aan constructies**
 - Berekening constructies (Eurocode)
 - Traditioneel brandontwerp
 - Fysisch brandmodel
 - Compartimentsbrand
 - Lokale brand
 - Globaal constructiegedrag
 - Juridische context

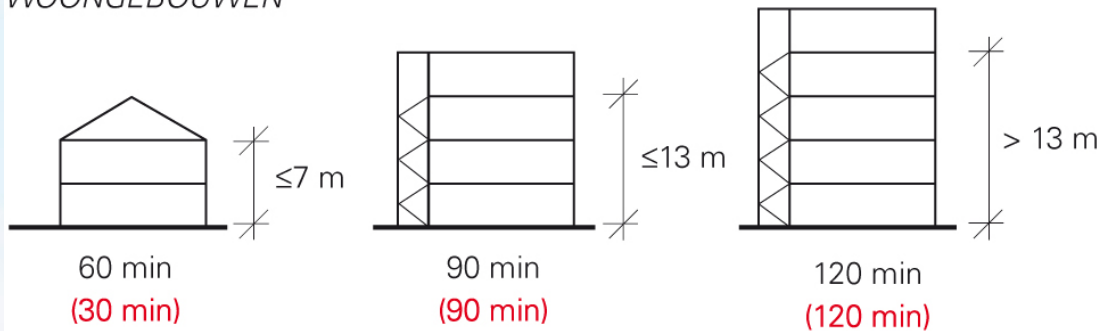


Bouwbesluit en eisen aan constructies

UTILITEITSGEBOUWEN

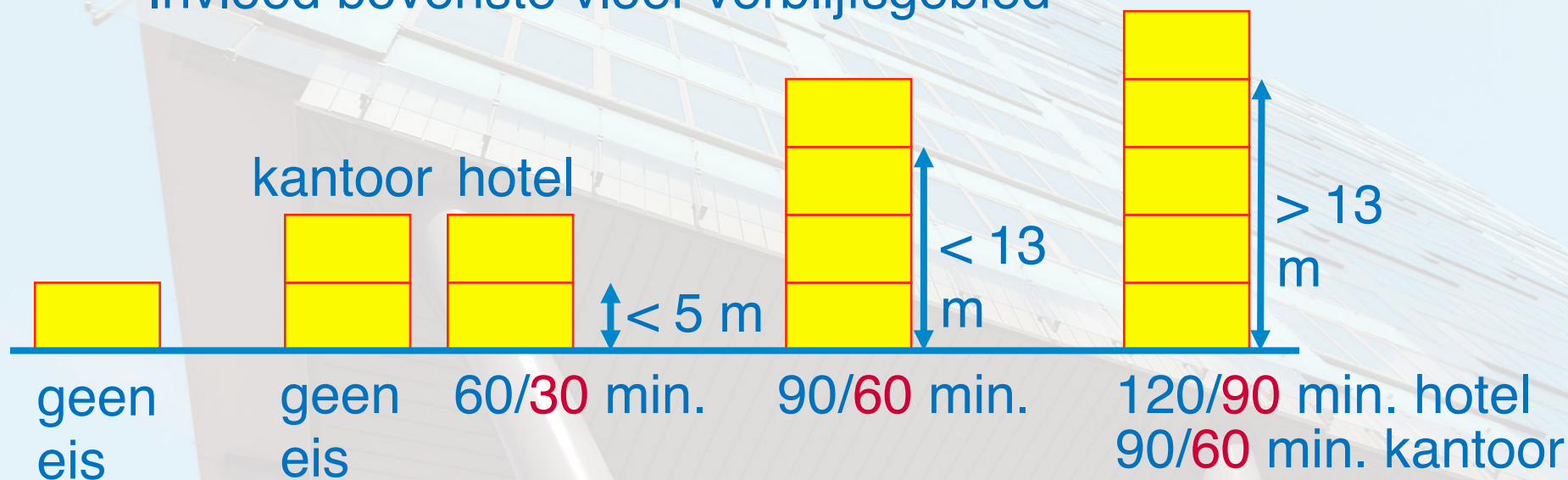


WOONGEBOUWEN



'Hoofd'draagconstructie

- Onderscheid slaap- en niet-slaapgebouwen
- Invloed bovenste vloer verblijfsgebied



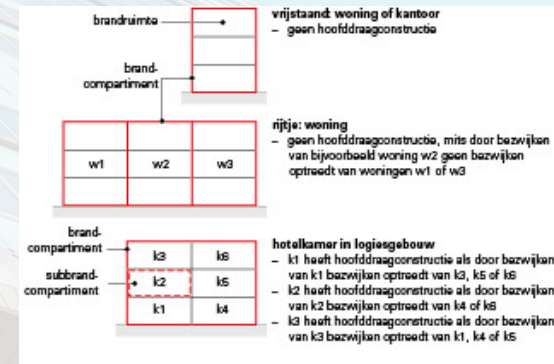
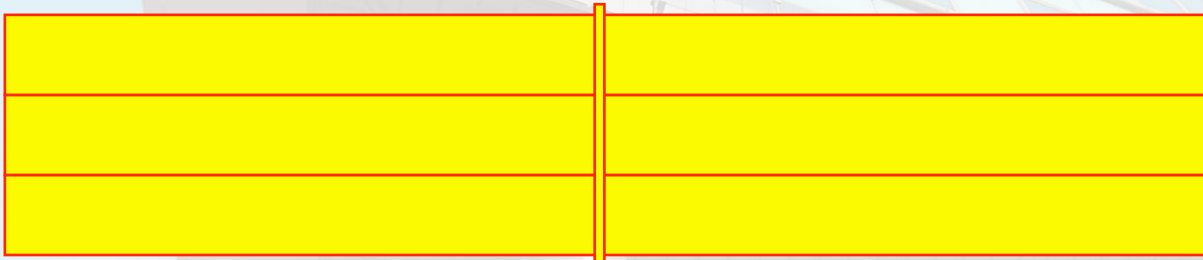
als de permanente vuurbelasting
< 500 MJ /m² (ca. 25 kg vuren hout/m²)

Naast eisen aan 'hoofd'draagconstructie ook eisen aan draagconstructie:

- onbruikbaar worden vluchtroute
 - » 30 minuten brandwerendheid (brand in ander subbc)
- brandoverslag naar andere gebouwen
 - » 30 minuten brandwerendheid gevel
- compartimentering binnen gebouw
 - » 60 minuten brandwerendheid (30 min. als $h_{\text{vloer}} < 5 \text{ m}$)

- BB 2012 kent het begrip 'hoofddraagconstructie' niet meer maar omschrijft de constructies waarvoor de hogere eisen gelden (60, 90, 120):
 - Een bouwconstructie bezwijkt bij brand in een brandcompartiment waarin die bouwconstructie niet ligt, niet binnen de in tabel 2.10.1 aangegeven tijdsduur door het bezwijken van een bouwconstructie binnen of grenzend aan dat brandcompartiment
- Gaat onverminderd om het voorkomen van voortschrijdend bezwijken (buiten het bc)
- Eis in minuten, niet meer automatisch aan standaard brandkromme gekoppeld, bepaling volgens Eurocodes

- Tot 2012: term met definitie
- Bouwbesluit 2012: geen term, maar omschrijving wanneer de (hogere) eisen gelden:
 - geen voortschrijdend bezwijken buiten het brandcompartiment



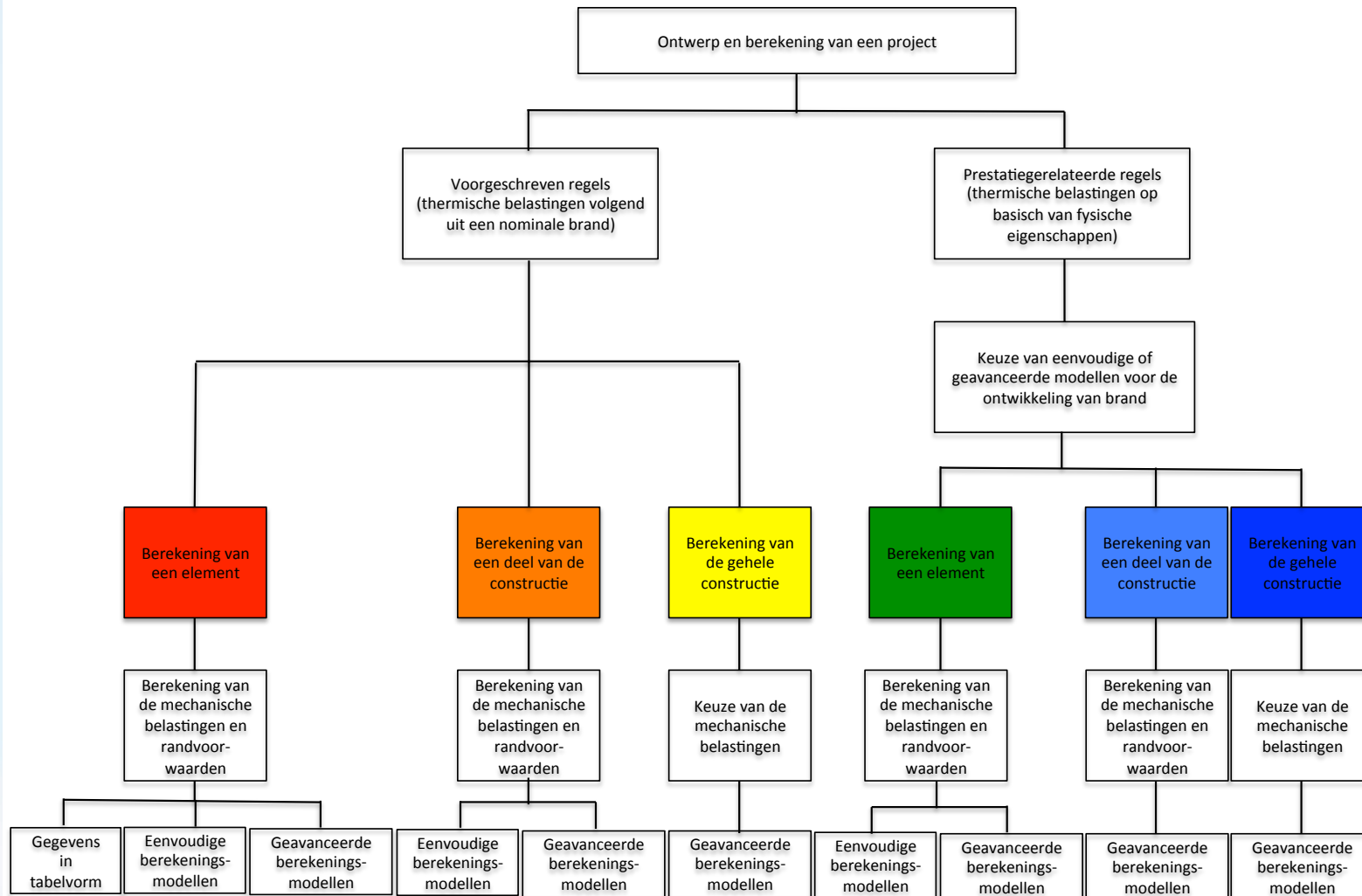
- Brandcompartiment 1 Brandcompartiment 2
- Geen eis van 90 / 60 min. als constructie ontkoppeld is dwz bezwijken ene compartiment leidt niet tot bezwijken andere; 30 min ivm vluchten (bij opdeling in subbc's)

- ✓ Introductie van FSE (Fire Safety Engineering)
- ✓ Bouwbesluit en eisen aan constructies
- **Berekening constructies (Eurocode)**
 - Traditioneel brandontwerp
 - Fysisch brandmodel
 - Compartimentsbrand
 - Lokale brand
 - Globaal constructiegedrag
- Juridische context


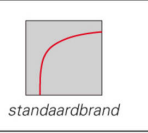
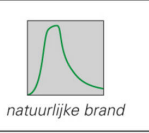
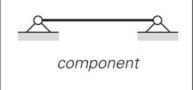
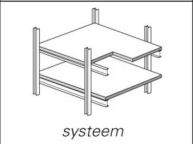


- EN1991-1-2: Belastingen
- EN1992-1-2: Beton
- EN1993-1-2: Staal
- EN1994-1-2: Staal-beton
- EN1995-1-2: Hout
- EN1996-1-2: Metselwerk
- EN1999-1-2: Aluminium

Berekening constructies (Eurocode): EN1991-1-2



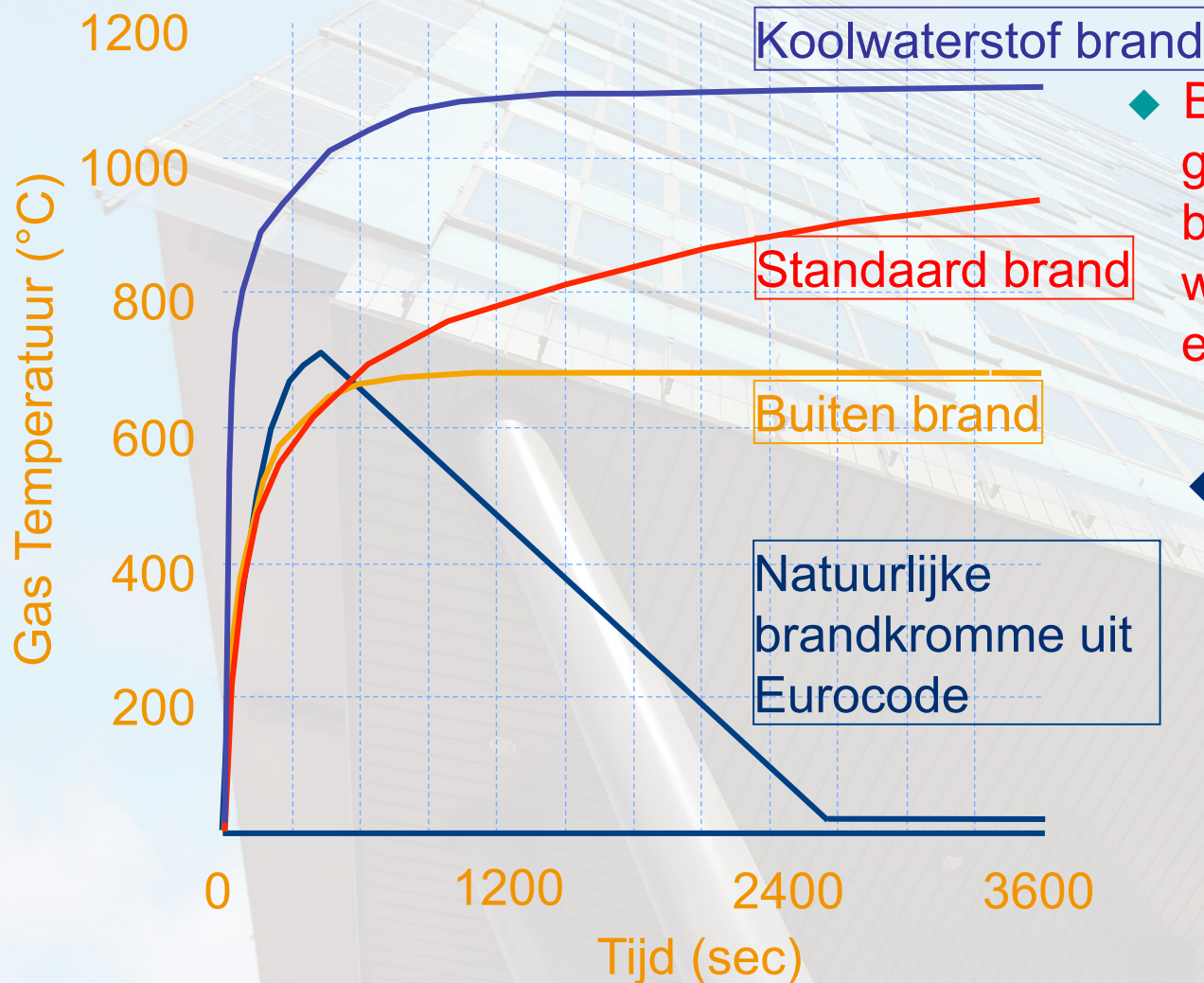
Keuze bij de berekening van de constructie bij brand

	 standaardbrand	 natuurlijke brand
 component	classificatie	fire safety engineering
 systeem	fire safety engineering	fire safety engineering

Thermische belasting op basis van standaardbrandkromme

Thermische belasting op basis van de fysica (natuurlijke of fysische brandkromme)

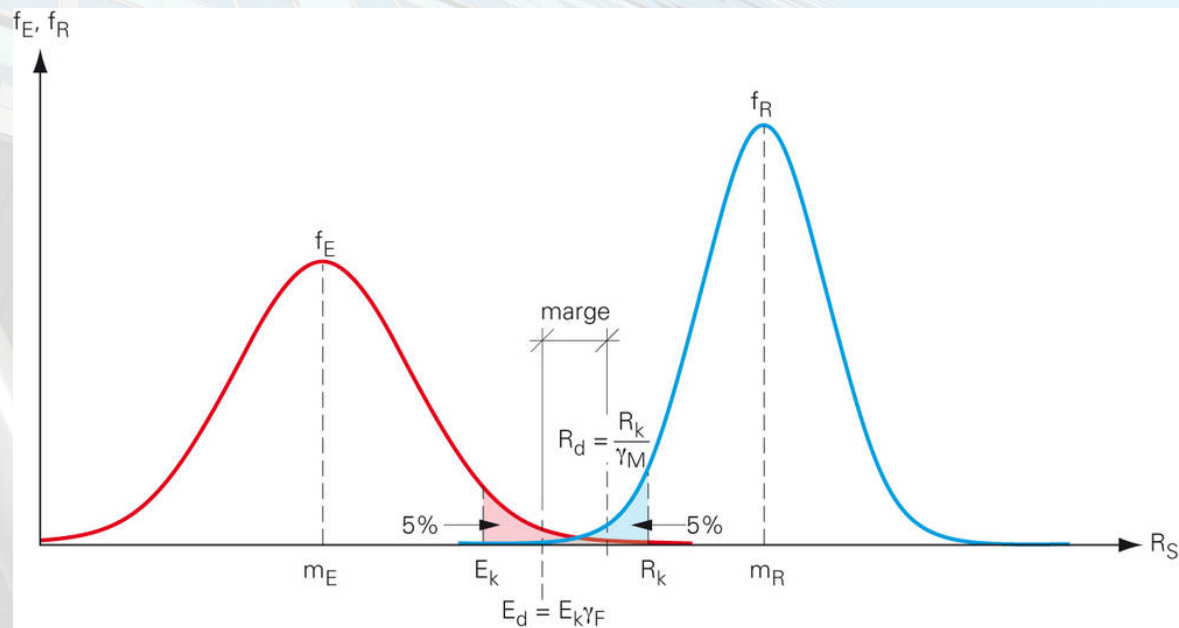
Thermische belasting: Nominale en Natuurlijke brandkrommen



◆ Brandwerendheidseis is gebaseerd op standaard brandproef; NIET op werkelijk gedrag in een echte brand

◆ Natuurlijke brandkromme uit Eurocode, gebaseerd op vuurbelasting en eigenschappen brandcompartiment

- Belastingen E (wind, sneeuw, personen, enz.) bepaald met een lage overschrijdingskans: $E_d = \gamma_F \cdot E_k$
- Sterkte van constructie R berekenen met een lage onderschrijdingskans: $R_d = R_k / \gamma_M$
- Veiligheidsfactoren
- $R_d \geq E_d$



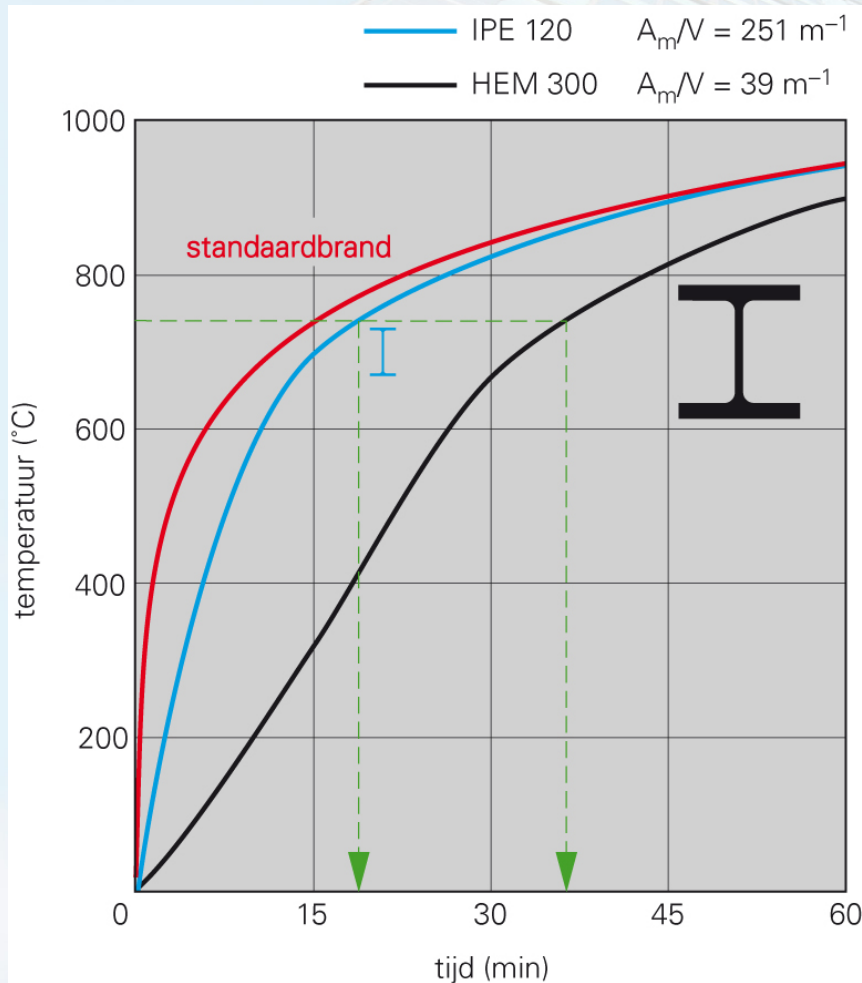
- Elke constructie heeft een bezwijkkans, hoe klein ook: orde van grootte $1 \cdot 10^{-5}$ over levensduur
- Maximaal toegestane bezwijkkans is lager wanneer de effecten van bezwijken groter zijn: brug, hoogbouw of theaterzaal vs. eengezinswoning, industriehal of stal
- Eurocode: indeling in gevolgklassen CC1, CC2, CC3
- Per hogere klasse ± 10 x lagere bezwijkkans
- In deze benadering hebben we het dus niet à priori over .. minuten brandwerendheid

- Geen directe koppeling met gevolgklassen en ontwerplevensduur?
 - Nee, niet als je de gebruikelijke optie 'standaardbrand' uit de EC toepast, want dan wordt je voor de eisen terugverwezen naar het BB (30, 60, 90, 120 minuten)
 - Ja, als je de optie 'natuurlijke brand' uit de EC gebruikt

- ✓ Introductie van FSE (Fire Safety Engineering)
- ✓ Bouwbesluit en eisen aan constructies
- ✓ Berekening constructies (Eurocode)
 - Traditioneel brandontwerp
 - Fysisch brandmodel
 - Compartimentsbrand
 - Lokale brand
 - Globaal constructiegedrag
- Juridische context

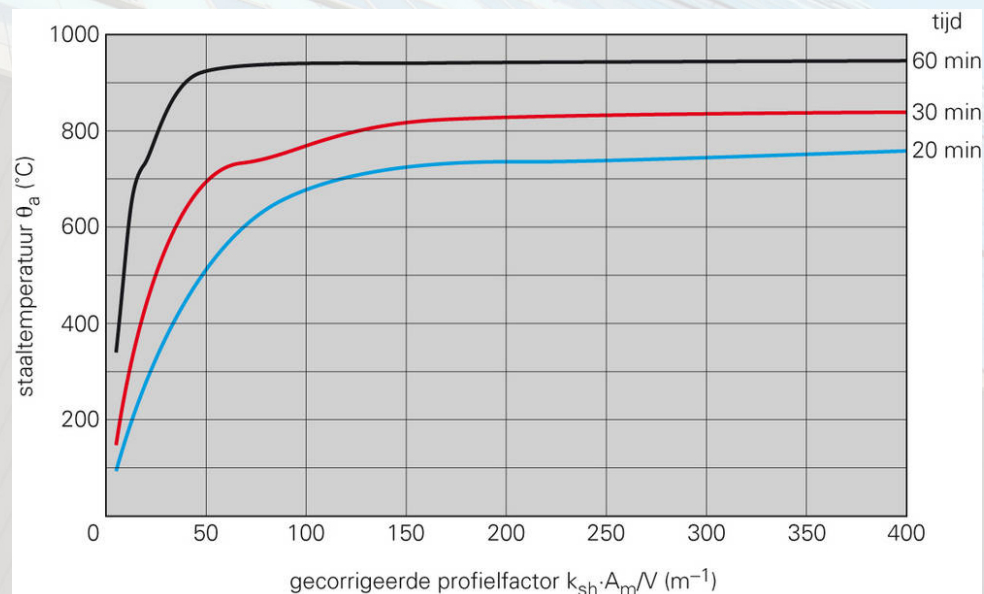


- Standaardbrand; opwarming als functie van profielfactor



$A_m/V =$ 'verf' opp.
inhoud

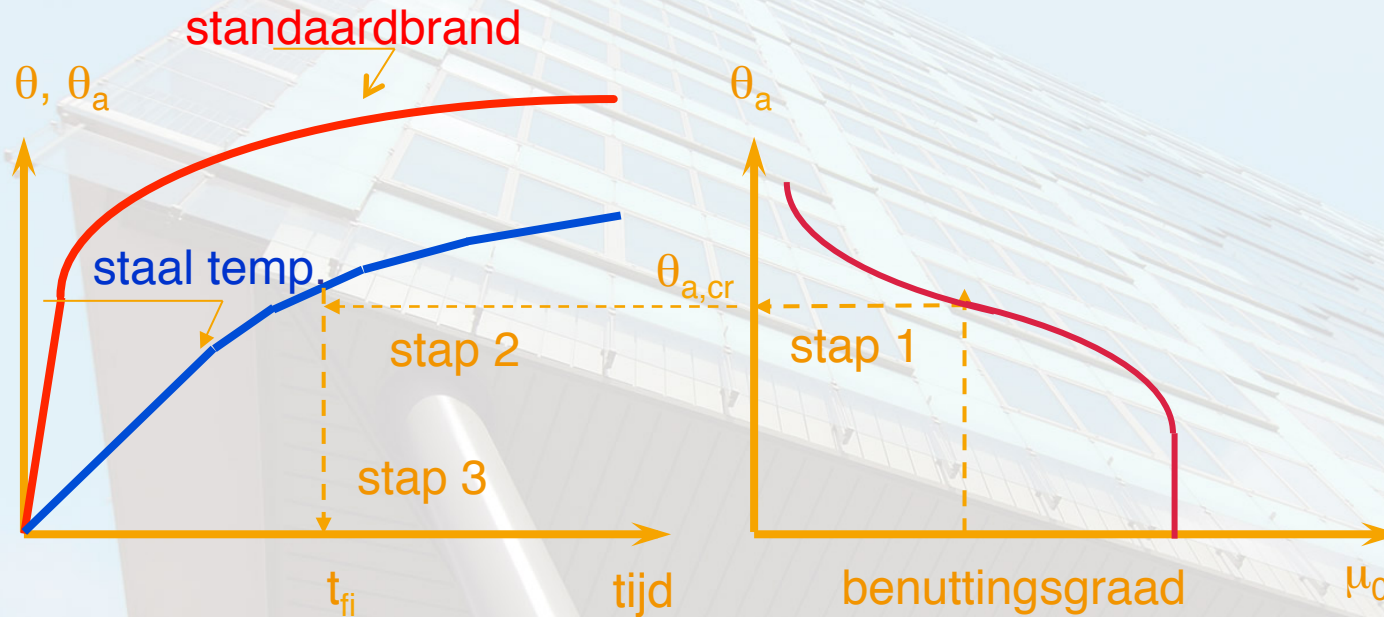
$A_m/V =$ verhitte omtrek
doorsnede opp



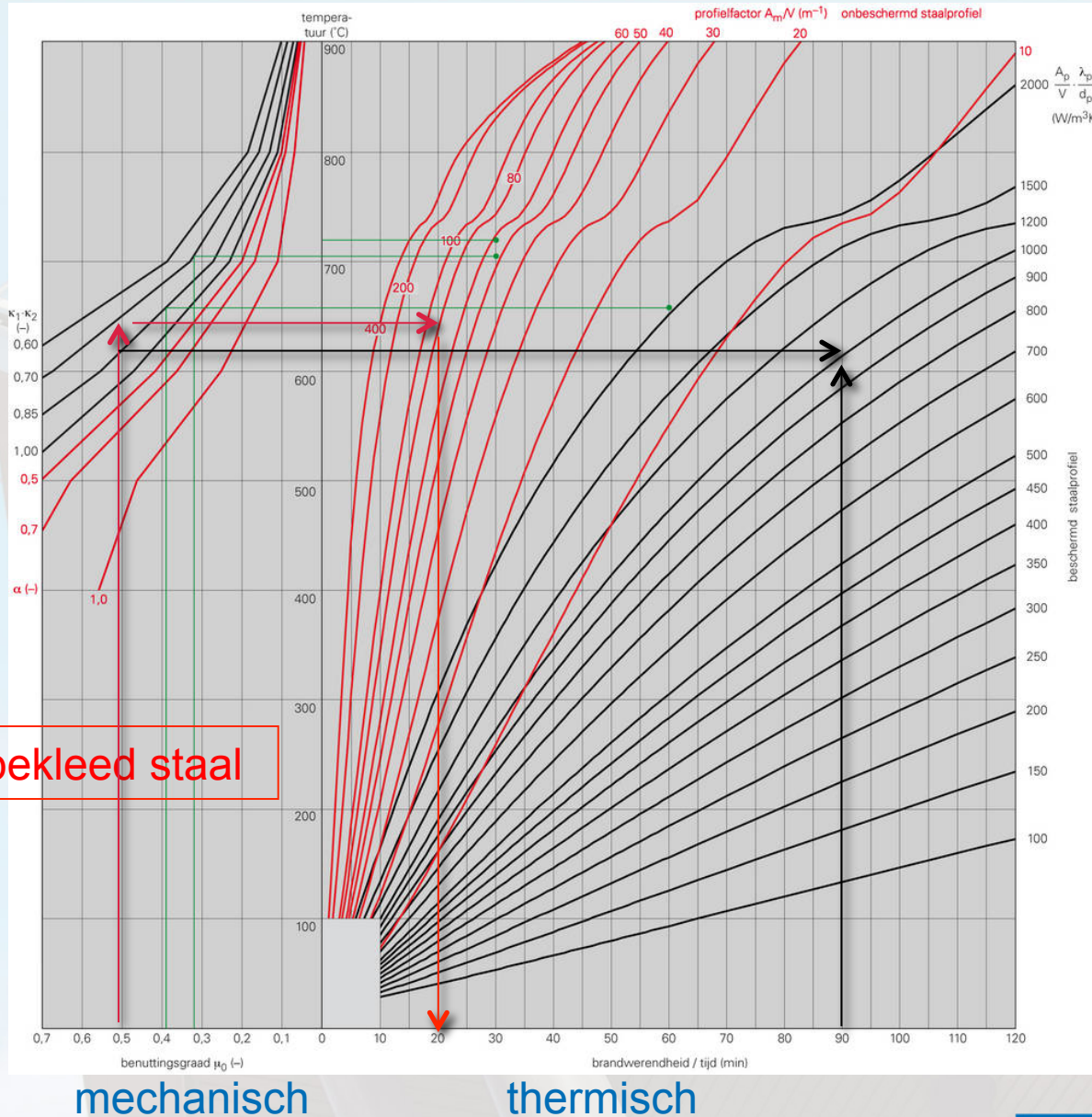
Eenvoudige berekening van de brandwerendheid staalconstructies:

Thermisch: profielfactor / bekleding $> \theta_a$

Mechanisch: benuttingsgraad $>$
kritieke staaltemperatuur $\theta_{a;cr}$



- Stap 1: bepaal mechanische respons: $\mu_0 \Rightarrow \theta_{a,cr}$
- Stap 2: bepaal thermische respons $\Rightarrow \theta_a$
- Stap 3: bepaal brandwerendheid $\Rightarrow t_{fi}$

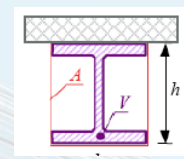


voor onbekleed staal

Nomogram

vb statisch bepaalde ligger

HEA240



voor bekleed staal te gebruiken als eerste benadering

mechanisch

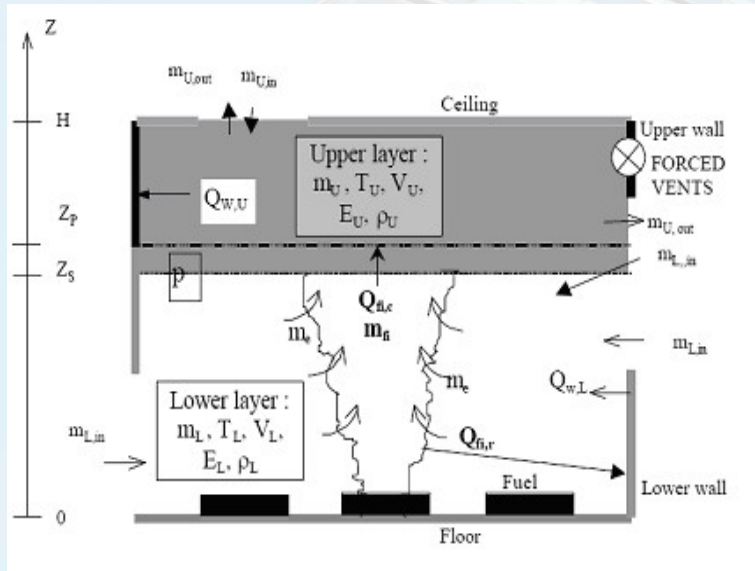
thermisch

- ✓ Introductie van FSE (Fire Safety Engineering)
- ✓ Bouwbesluit en eisen aan constructies
- ✓ Berekening constructies (Eurocode)
 - ✓ Traditioneel brandontwerp
 - **Fysisch brandmodel**
 - Compartimentsbrand
 - Lokale brand
 - Globaal constructiegedrag
 - Juridische context

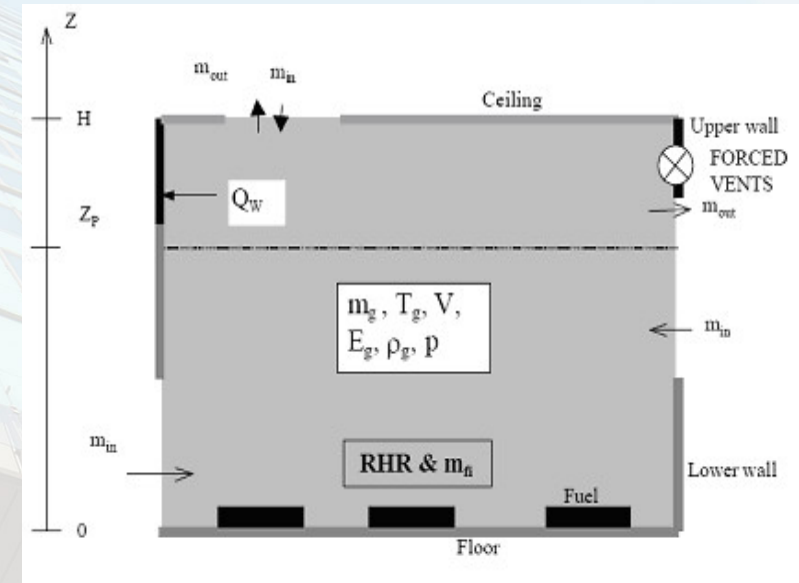


Zonemodel als basis

Vóór flashover: twee zones



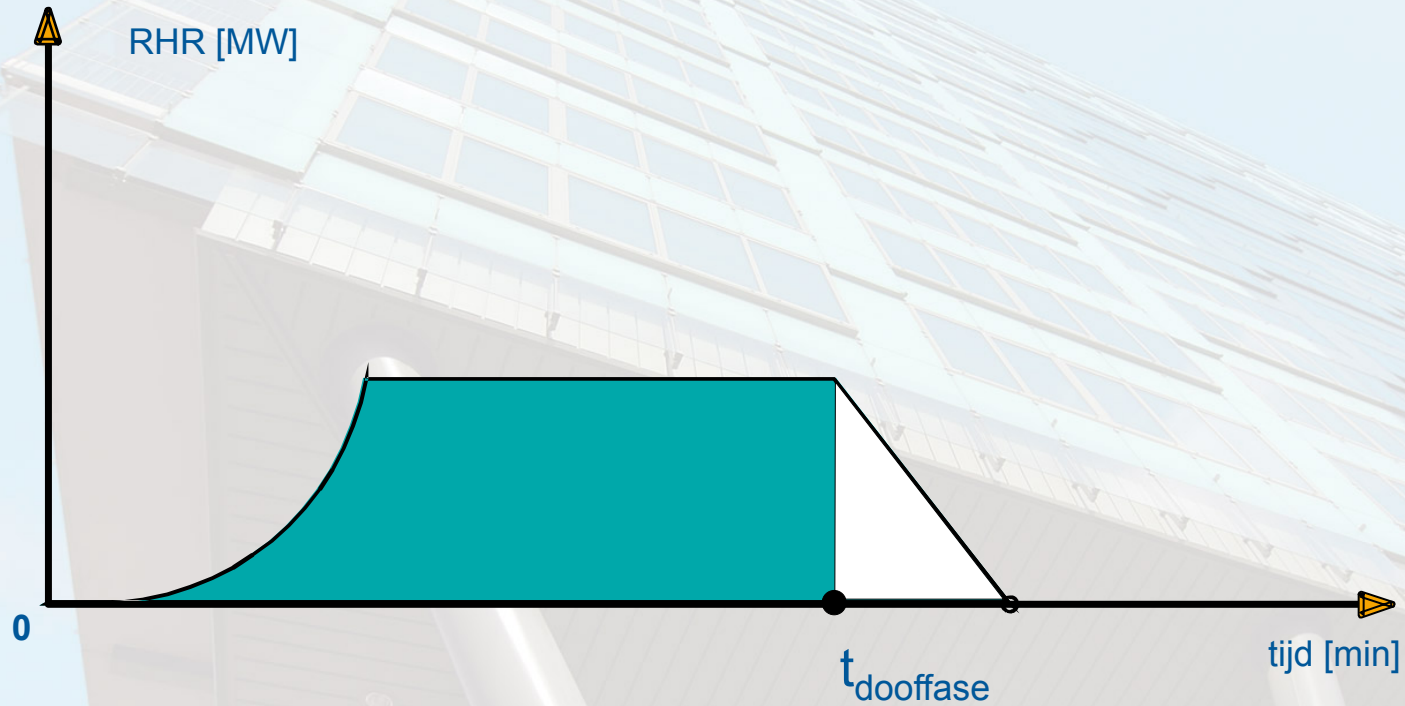
Ná flashover: één gemengde zone



overgangsvoorwaarden

Fysisch brandmodel: Compartimentsbrand

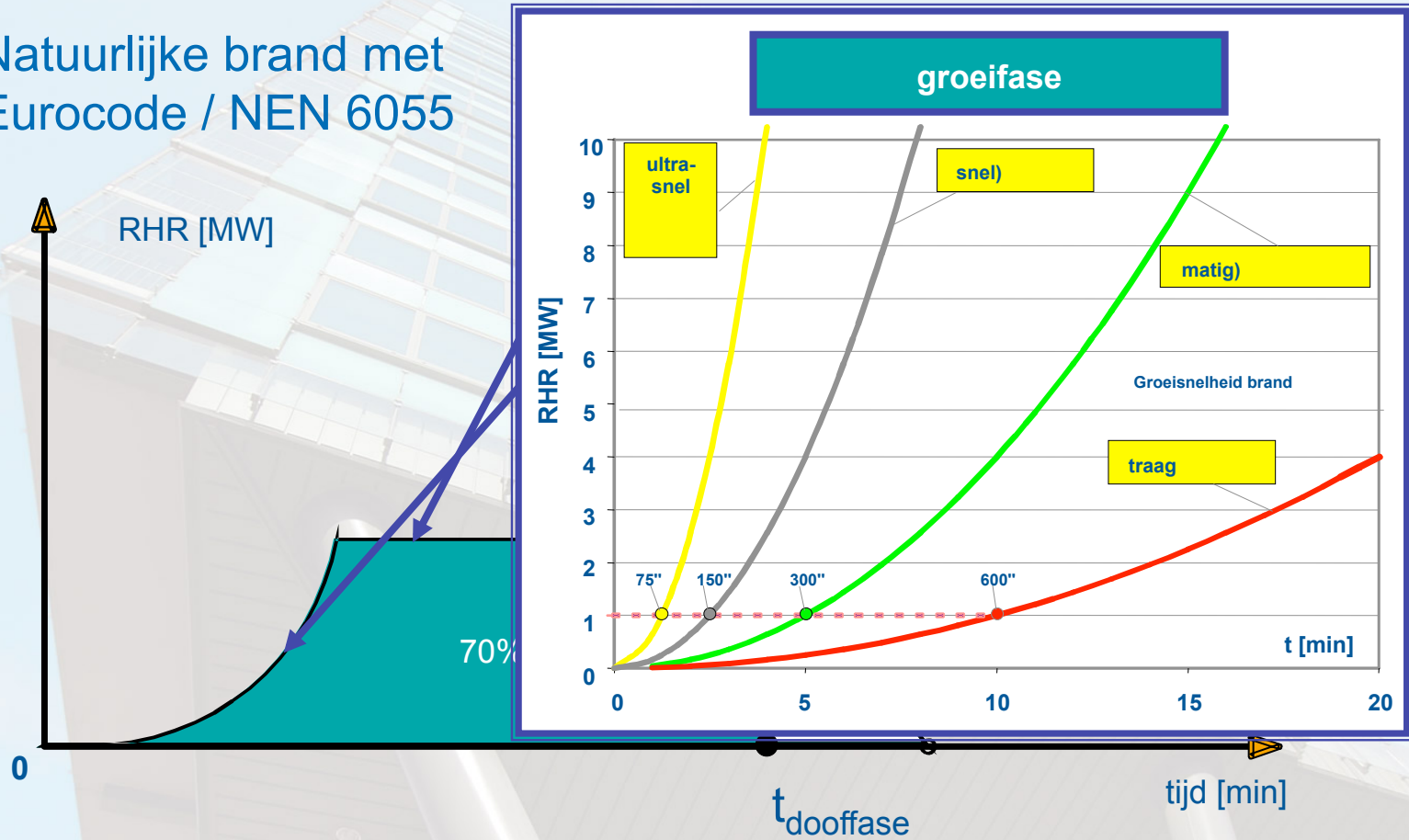
- Natuurlijke brand met Eurocode / NEN 6055



RHR: afbrandsnelheid of brandvermogensdichtheid

Fysisch brandmodel: Compartimentsbrand

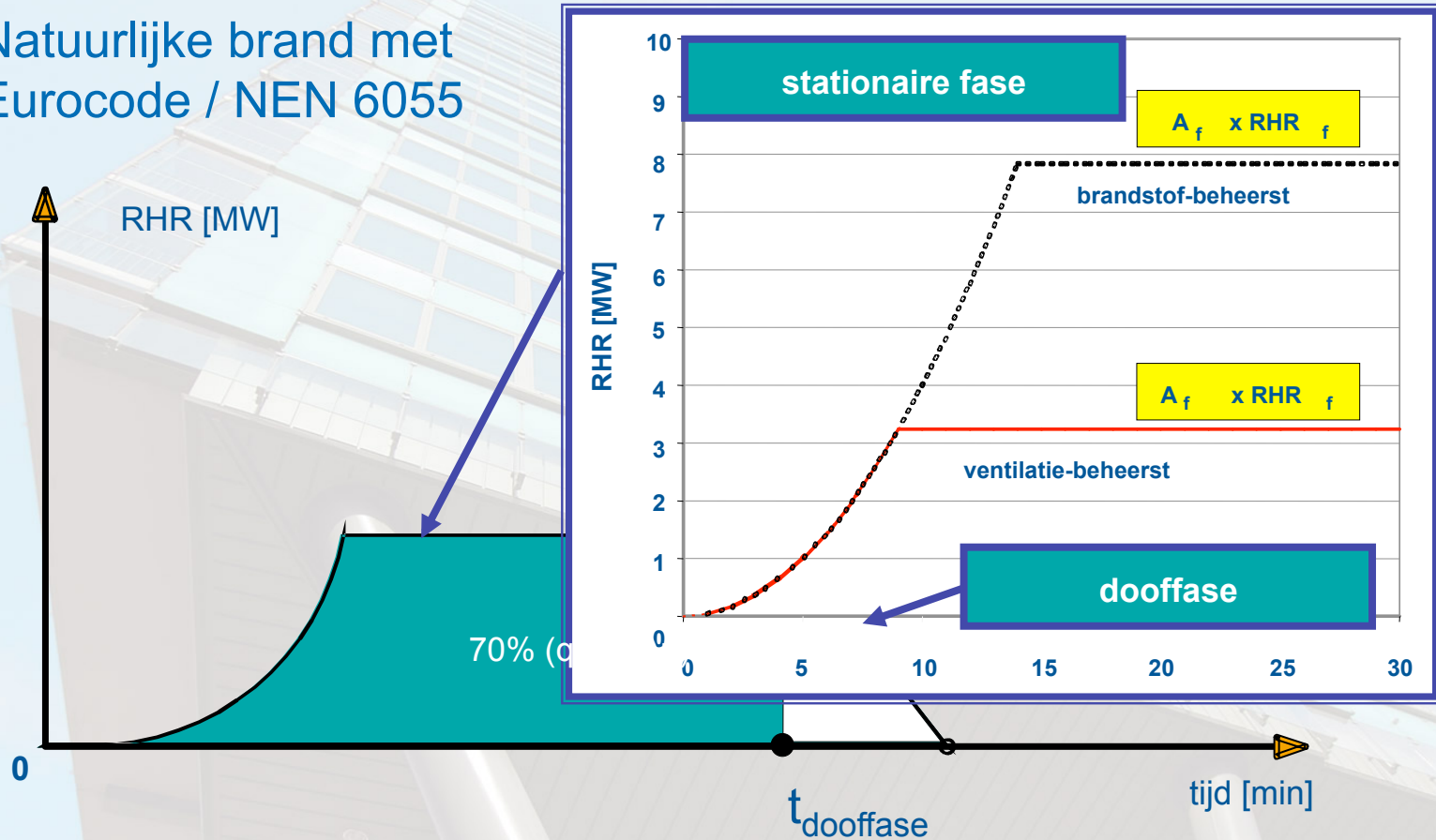
- Natuurlijke brand met Eurocode / NEN 6055



RHR: afbrandsnelheid of brandvermogensdichtheid

Fysisch brandmodel: Compartimentsbrand

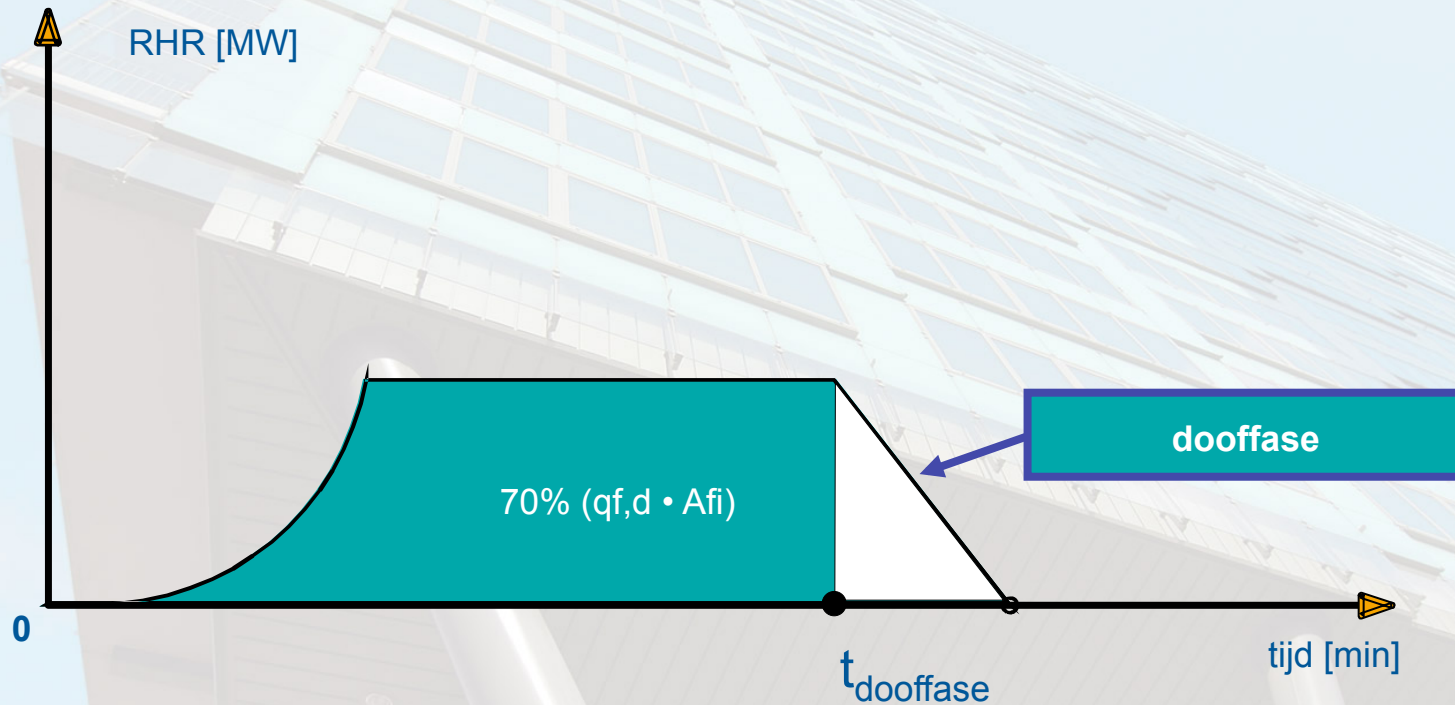
- Natuurlijke brand met Eurocode / NEN 6055



RHR: afbrandsnelheid of brandvermogensdichtheid

Fysisch brandmodel: Compartimentsbrand

- Natuurlijke brand met Eurocode / NEN 6055



RHR: afbrandsnelheid of brandvermogensdichtheid

Fysisch brandmodel: Compartimentsbrand

- Veiligheidsfactoren in Eurocode

vloeroppervlak brandruimte Af [m ²]	activerings- risico δ_{q1}	activerings- risico δ_{q2}	voorbeelden van gebruik
25	1,10	0,78	museum, zwembad
250	1,50	1,00	woning, hotel, kantoor
2500	1,90	1,22	machinefabriek
5000	2,00	1,44	chemische fabriek, verfwinkel www-werkfabriek

$$q_{f,d} = \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \prod \delta_{ni} \cdot m \cdot q_{f,k}$$

automatische blussing		automatische melding		handmatige blussing					
automatisch water- blussysteem	onafhanke- lijke water- toevoer	automatische melding & alarm	automatische doormelding naar de brandweer	bedrijfs- brandweer	gemeente brandweer	veilige toegang	brandblus- middelen	rook- afvoer	
δ_{n1}	0 1 2 δ_{n2}	door hitte δ_{n3}	door rook δ_{n4}	δ_{n5}	δ_{n6}	δ_{n7}	δ_{n8}	δ_{n9}	δ_{n10}
0,61	1,0 0,87 0,7	0,87 or 0,73		0,87	0,61 or 0,78		0,9 or 1 1,5	1,0 1,5	1,0 1,5

- Wijziging in NB t.o.v. NEN-EN 1991-1-2:

$$q_{f,d} = \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \prod \delta_{ni} \cdot m \cdot q_{f,k}$$

- Rekenwaarde voor de vuurbelasting & brandvermogen

$$q_{f,r} = \delta_{qf} \cdot m \cdot q_{f,k}$$

$$RHR_{f,r}(t) = RHR_{f,d}(t) \cdot \delta_{qf}$$

- Globale risicofactor δ_{qf} op basis van partiële kansen p_1 , p_2 en p_{ni} , overeenkomstig de partiële δ_{qf} risicofactoren δ_{q1} , δ_{q2} en δ_{ni} uit EN (met schrap factor 0,1 brandweer (2018))
- NB: 2018 met factor p_{cc} volgens gevolgklasse: 0,005 (CC1), 0,03 (CC2), 0,2(CC3)

$$p_{tot} = p_1 \cdot p_2 \cdot \prod p_{ni} \cdot p_{cc}$$

NB: Wijzigingen tov EN

$$q_{f,r} = \delta_{qf} \cdot m \cdot q_{f,k}$$

$$RHR_{f,r}(t) = RHR_{f,d}(t) \cdot \delta_{qf}$$

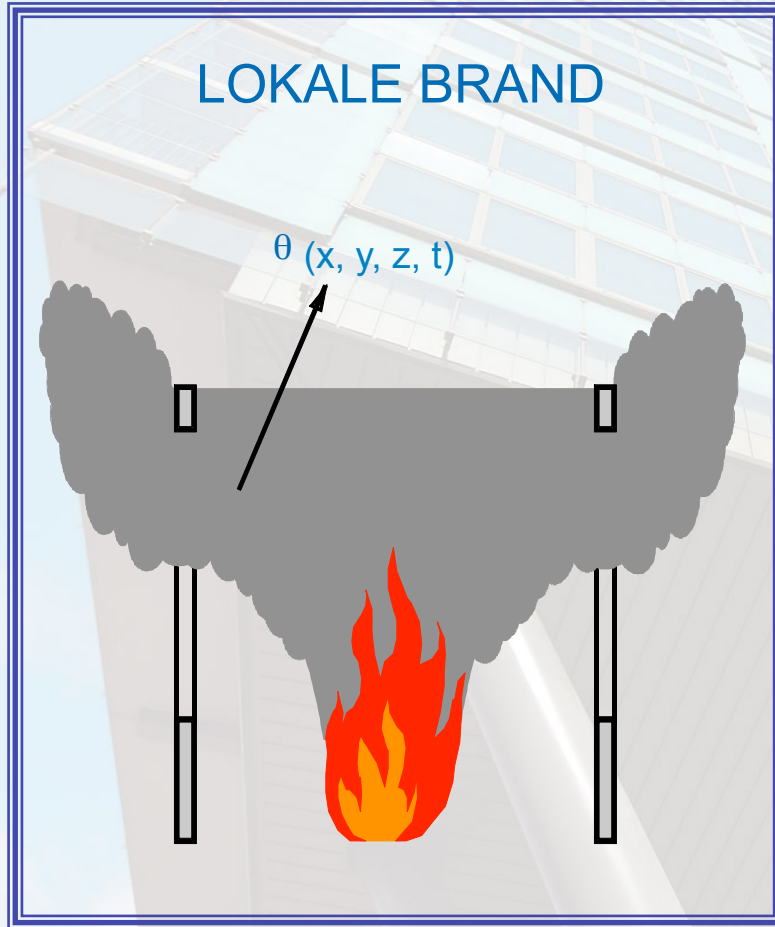
$$p_{tot} = p_1 \cdot p_2 \cdot \prod p_{ni} \cdot p_{cc}$$

- Globale risicofactor δ_{qf} :
 - bepaal partiële kansen p_1 , p_2 , p_{cc} en p_{ni} , uit NB-tabellen
 - bepaal globale kans p_{tot}
 - bepaal δ_{qf} uit p_{tot} met ondergrens 0,54 (NB-tabel)
- Berekening met aangepaste brandvermogenscurve

- ✓ Introductie van FSE (Fire Safety Engineering)
- ✓ Bouwbesluit en eisen aan constructies
- ✓ Berekening constructies (Eurocode)
 - ✓ Traditioneel brandontwerp
 - **Fysisch brandmodel**
 - ✓ Compartimentsbrand
 - **Lokale brand**
 - Globaal constructiegedrag
 - **Juridische context**



Wanneer geen compartimentsbrand kan ontstaan en de brand lokaal blijft (grote hal met beperkte vuurlast; parkeergarage)



VOLLEDIG ONTWIKKELDE BRAND

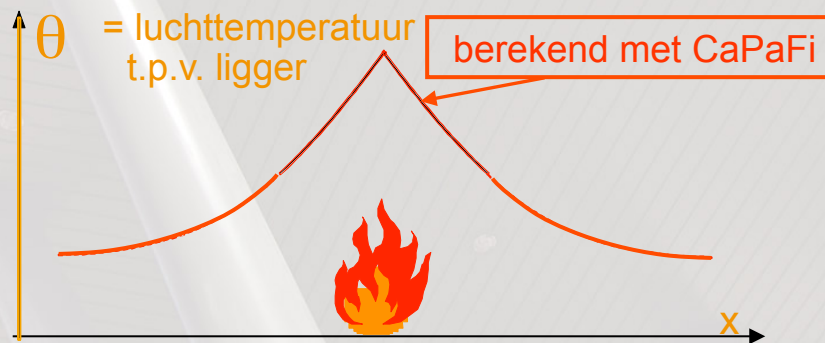
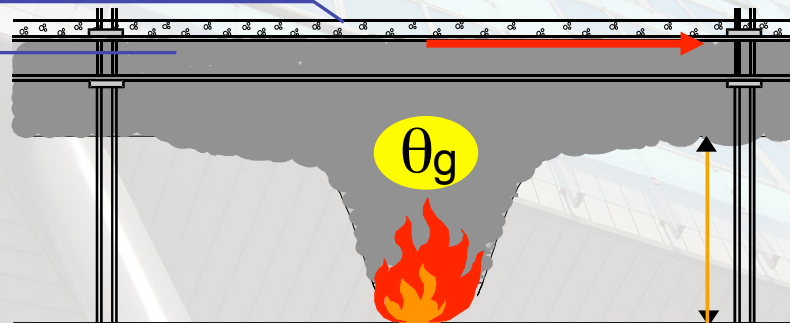


Methode van HASEMI

EN 1991-1-2, bijlage C:

- Vlam bereikt het plafond ($L_f > H$)

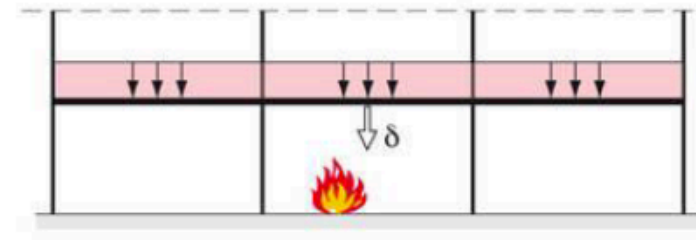
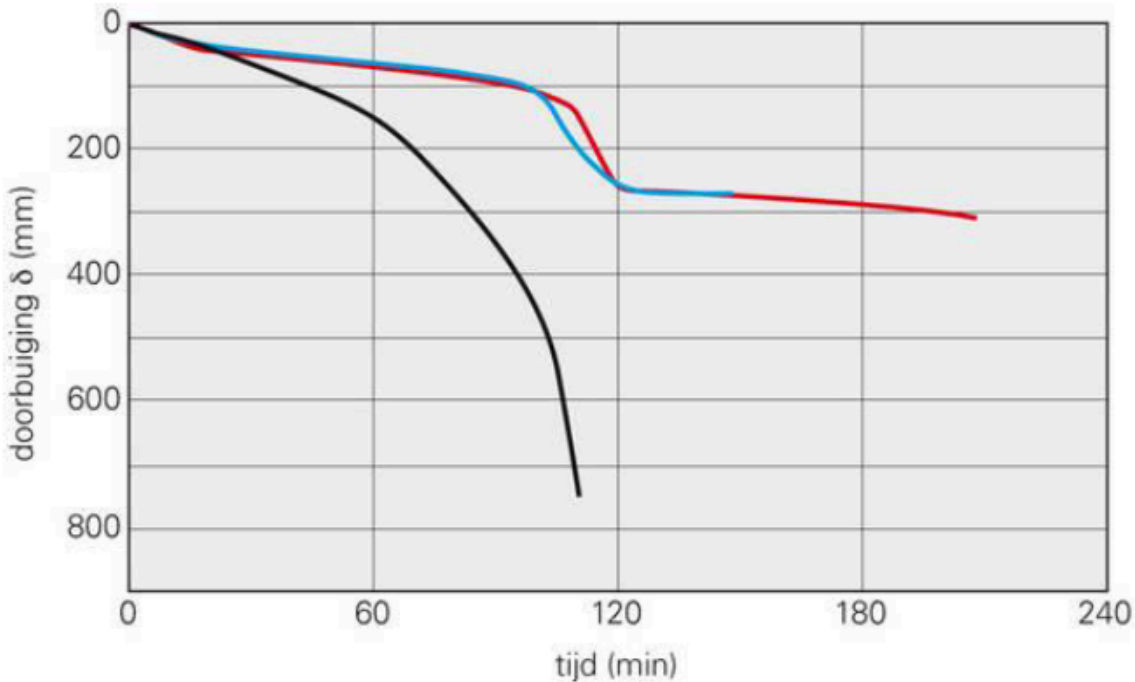
betonvloer
ligger



- ✓ Introductie van FSE (Fire Safety Engineering)
- ✓ Bouwbesluit en eisen aan constructies
- ✓ Berekening constructies (Eurocode)
 - ✓ Traditioneel brandontwerp
 - ✓ Fysisch brandmodel
 - ✓ Compartimentsbrand
 - ✓ Lokale brand
 - **Globaal constructiegedrag**
- Juridische context



Globaal constructiegedrag



- brandproef
- berekening raamwerk
- berekening ligger




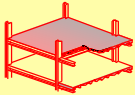
Het vervormings- en bezwijkgedrag van een stalen raamwerk onder (standaard) brandomstandigheden wijkt sterk af van dat van een afzonderlijke ligger.

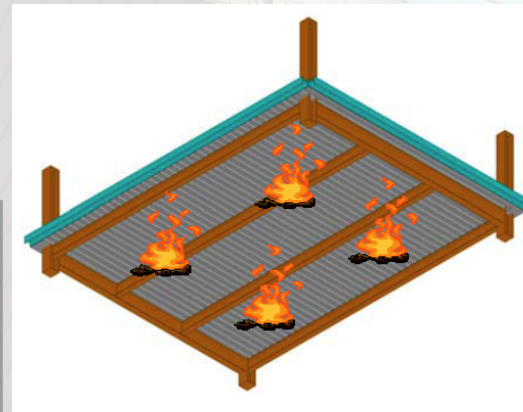
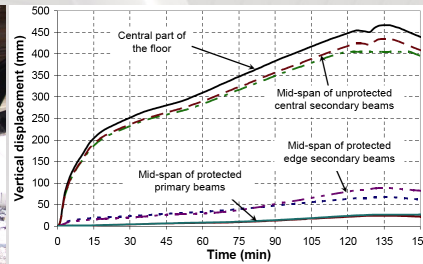
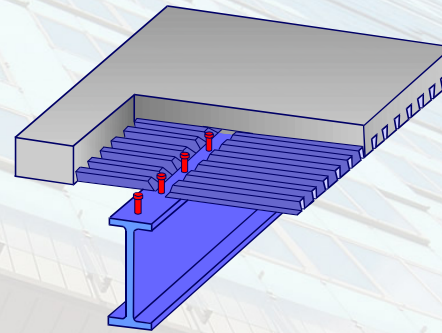
Het globaal constructie- (of systeem-) gedrag is door interactie van de ligger met de vloer en andere stalen constructieonderdelen in werkelijkheid anders.

Globaal constructiegedrag

Tool MACS+: gebruik membraanwerking in staalplaat-betonvloer, waardoor deel van de liggers onbekleed kan blijven

- mindset: brand in Broadgate, Londen
- 1 : 1 testfaciliteit in Zeppelinhanger
- constructie als een systeem veel sterker
- liggers hangen aan de vloer!
- standaard brandkromme
- Metz: 6,6 x 8,7 m vloerveld
- 2 liggers onbekleed
- > 120 minuten brandwerend
- ontwerptool en achtergronddocumenten
- www.macsfire.eu (18 talen) en http://www.brandveiligmetstaal.nl/pag/863/7a10_ontwerptool_macs.html
- zie laatste lezing

	
	
	Systeem-gedrag vloer + liggers



- ✓ Introductie van FSE (Fire Safety Engineering)
- ✓ Bouwbesluit en eisen aan constructies
- ✓ Berekening constructies (Eurocode)
 - ✓ Traditioneel brandontwerp
 - ✓ Fysisch brandmodel
 - ✓ Compartimentsbrand
 - ✓ Lokale brand
 - ✓ Globaal constructiegedrag
- **Juridische context**



- Eurocodes + Nationale Bijlagen aangewezen door Bouwbesluit
- NEN-EN 1991-1-2 (belastingen) + NB:
 - Annex B ‘constructie buiten’: normatief
 - Annex C ‘lokale branden’: informatief
 - Annex D ‘geavanceerde modellen’: informatief
 - Annex E ‘fysische brandmodellen’: informatief, wordt normatief in NB: 2018
- Normatief: berekening moet worden geaccepteerd door bevoegd gezag, mits...
- Informatief: bevoegd gezag heeft enige vrijheid berekening te weigeren (met motivatie)



- Huidige NB bij NEN-EN 1991-1-2 Annex E:
- Informatief: bevoegd gezag kan vragen naar (ref. introductie bij annex E):
 - een specifieke analyse van de afkoelingsfase,
 - de verbindingen,
 - de effecten van thermische vervormingen (en de verhinderd daarvan),
 - een globale bechouwing van de veiligheid van het ontwerp in vergelijking met traditionele ontwerp.
 - op zijn minst een verklaring waarom deze aspecten zijn afgedekt in het ontwerp.
- Deze status biedt nog onvoldoende aanmoediging voor de toepassing van ‘fire safety engineering’ door ingenieurs



- NB: 2018 bij NEN-EN 1991-1-2 Annex E:
- Normatief: berekening moet worden geaccepteerd door bevoegd gezag, mits....:
 - Terzake kundig,
 - Relevante scenario's zijn beschouwd (gevoeligheidsanalyse)
 - Aandacht voor de eerder genoemde aspecten, met name verhinderde vervormingen.
- Nieuwe status stimulans voor de toepassing van 'fire safety engineering' door ingenieurs
- Voordelen: meer inzicht in werkelijke gedrag, economie
- Nadelen: meer inspanning, nog niet algemeen bekend (bij indieners & toetsers), soms is een second opinion gewenst of extra berekeningen



Inmiddels vele praktijkvoorbeelden en toename kennis (zie het programma van vandaag)

Dank voor uw aandacht

