



SKB Post-HBO Bouwfysica - Brand 2

LES 3: CONSTRUCTIEGEDRAG

ir. B.C.M. Bierenbroodspot van Agtmaal
Bianca.vanagtmaal@effectis.com

INTRODUCTIE BRAND 2

Les 1: Brandontwikkeling (en brandfysica)

13 april **Modelleren van brand (en rook)**

Les 2: Rook en evacuatie + installaties

20 april

Les 3: Constructiegedrag

4 mei

Les 4: Brandwerendheid (branddoorslag) en brandoverslag

11 mei

Les 5: Materiaalgedrag + Excursie brandlab

18 mei

INHOUD LES 3

☐ Brandwerendheid m.b.t. bezwijken

- Algemeen
- Eurocodes
- Draagconstructies en brand

☐ Beton constructies

☐ Staal constructies

☐ Hout constructies



3A: BRANDWERENDHEID M.B.T. BEZWIJKEN



DEFINITIE

- ❑ Brandwerendheid
 - is de mate waarin een constructie in staat is om tijdens brand zijn functie te blijven vervullen.
- ❑ Betreft dus een eigenschap van een constructie
 - ‘brandwerend materiaal’ bestaat dus niet
- ❑ Functie kan bijv. zijn:
 - De brand tegenhouden (“scheidende functie”)
 - Het gebouw dragen (“dragende functie”)

BEOORDELEN VAN BRANDWERENDHEID M.B.T. BEZWIJKEN

- ❑ D.m.v. testen (volgende les)

- ❑ Met behulp van rekenmethoden -> EUROCODES
 - Belastingen -> EN 1991-1-2 (Eurocode 1, deel 1-2 belasting bij brand)
 - Getabelleerde waarden
 - Rekenregels
 - Voor diverse 'materialen'
 - Beton -> EN 1992-1-2 (Eurocode 2)
 - Staal -> EN 1993-1-2 (Eurocode 3)
 - Staal-Beton -> EN 1994-1-2 (Eurocode 4)
 - Hout -> EN 1995-1-2 (Eurocode 5)
 - Metselwerk -> EN 1996-1-2 (Eurocode 6)
 - Aluminium -> EN 1999-1-2 (Eurocode 9)
 - Uitgangspunten voor FSE

BEOORDELEN VAN BRANDWERENDHEID M.B.T. BEZWIJKEN

- ❑ Wordt bepaald door constructie bloot te stellen aan brand en te kijken hoe lang de functie vervuld blijft:
 - Standaard brandkromme (les 1) - vast temperatuurverloop in de tijd
 - Brandwerendheid wordt gemeten in minuten
 - Is classificatie van product
 - Het is niet zo dat een 60 minuten brandwerende constructie in de praktijk na 59 minuten zeker nog overeind staat en/of na 61 minuten zeker bezwijkt.

- ❑ Beoordelingscriteria
 - Bezwijken (e.g. instorten van de constructie)
 - Vervorming (slechts indicatief voor werkelijkheid -> veiligheidsmarge)

REGELGEVING

- ❑ Bouwbesluit stelt eisen aan ‘het niet mogen bezwijken van’ de bouwconstructie
 - Behandeld in les 3 van Brand 1

- ❑ Wat is de “bouwconstructie”?
 - Definitie BB:
onderdeel van een bouwwerk dat bestemd is om belasting te dragen
 - Voorheen ook wel (hoofd-)draagconstructie genoemd

- ❑ Elk individueel constructieonderdeel waarvan het individuele falen kan leiden tot het falen van andere delen van het gebouw, anders dan het naastgelegen brandcompartiment
 - > VOORTSCHRIJDENDE INSTORTING (progressive collapse)

Film Bouwkunde Brand

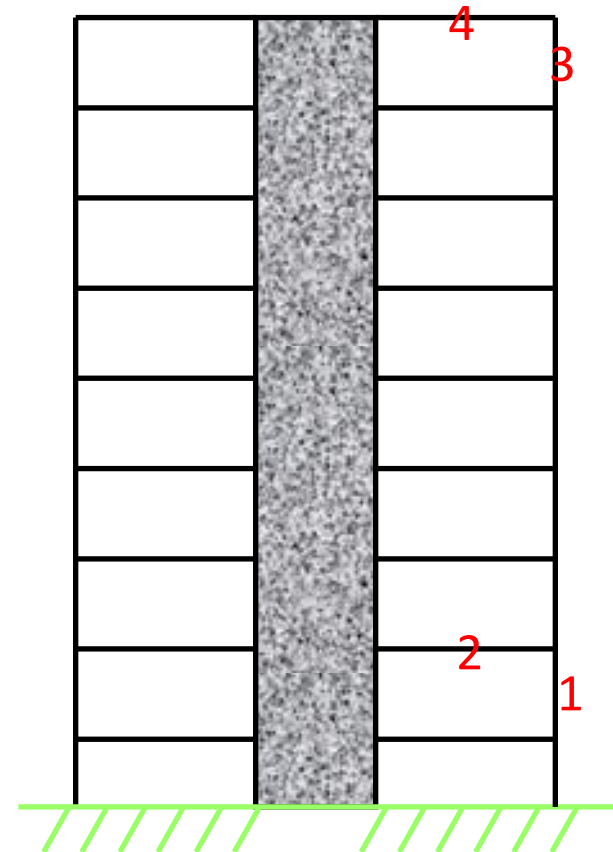
WAT IS HOOFDDRAAGCONSTRUCTIE ?

☐ Kolom 1?

☐ Vloer 2?

☐ Kolom 3?

☐ Dak 4?

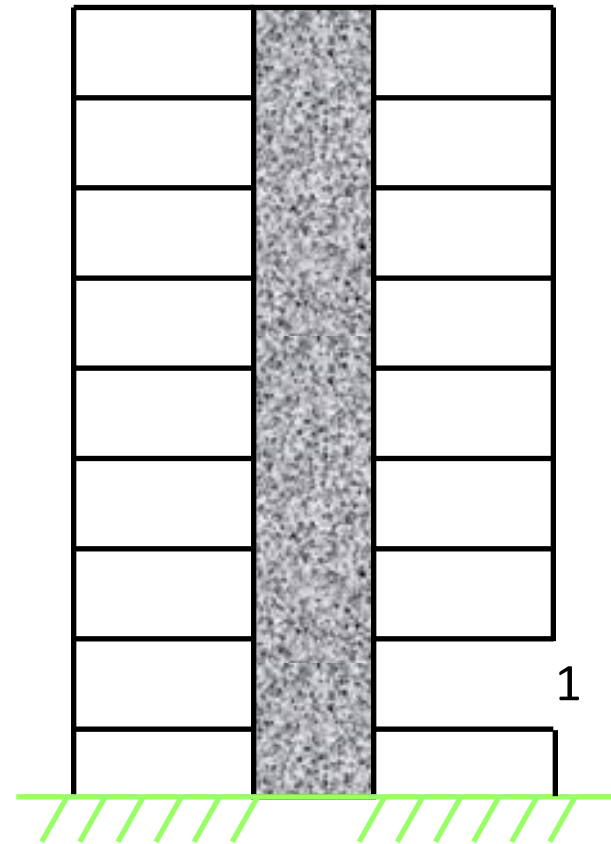


WAT IS HOOFDDRAAGCONSTRUCTIE ?

□ Kolom 1

□ Blijft het gebouw zo staan?

- Waarschijnlijk niet -> HDC
- Als de constructeur heeft aangetoond dat het gebouw zo blijft staan, dan geen HDC

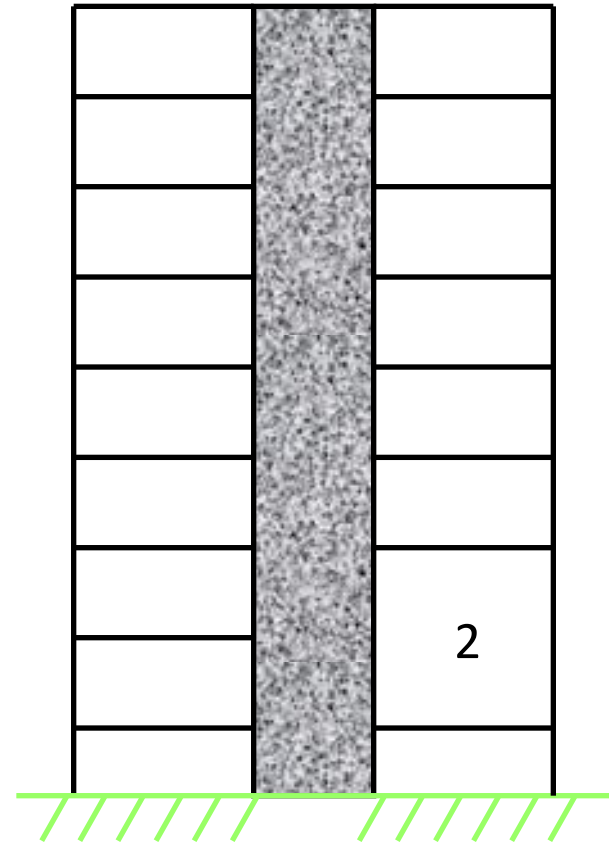


WAT IS HOOFDDRAAGCONSTRUCTIE ?

☐ Vloer 2

☐ Blijft het gebouw zo staan?

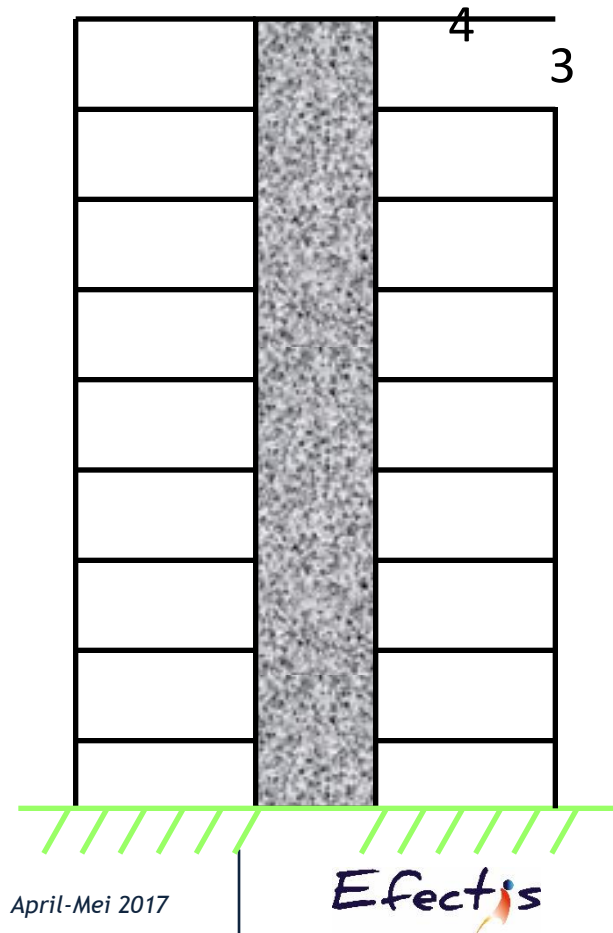
- Als de gevelkolom nu uitknikt zou het gebouw instorten -> HDC
- Als de vloer bij bezwijken de gevelkolom meetrekt -> HDC
- Als de vloer door de onderliggende vloer heenvalt -> HDC
- Als de constructeur heeft aangetoond dat dat allemaal niet gebeurt, dan geen HDC



WAT IS HOOFDDRAAGCONSTRUCTIE ?

❑ Kolom 3

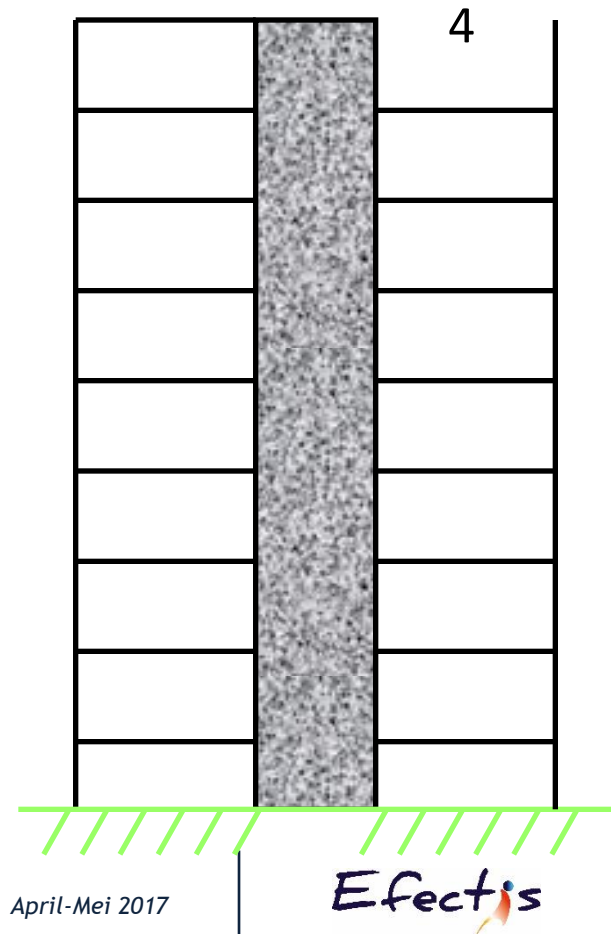
- ❑ Als kolom 3 instort, stort ook dak 4 in. Dat heeft geen gevolgen voor de rest van het gebouw als het dak maar niet door de hoogste vloer heen valt.
-> Geen HDC



WAT IS HOOFDDRAAGCONSTRUCTIE ?

□ Dak 4

- Als dak 4 instort, heeft dat geen gevolgen voor de rest van het gebouw als het dak maar niet door de hoogste vloer heen valt.
-> Geen HDC



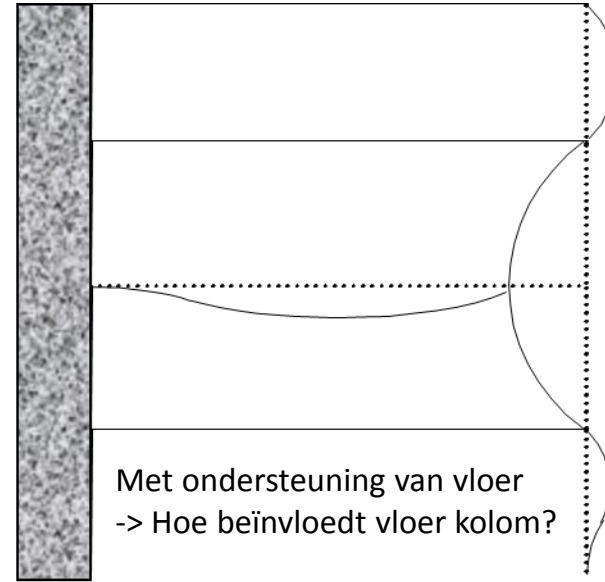
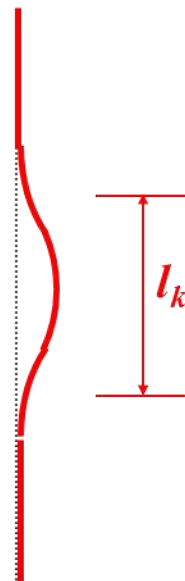
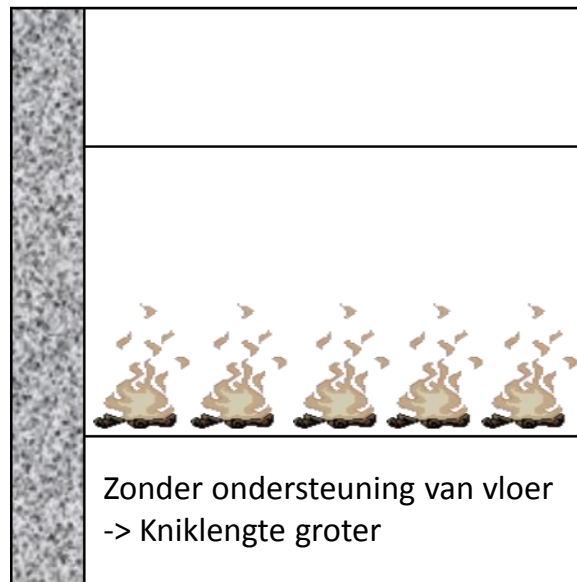
BEZWIJKEN VAN KOLOMMEN

❑ (verticaal) belast in zijn as...

- Belasting zit nooit exact in het midden
- Buiging van kolom -> buigend moment -> toename uitbuiging -> toename buigend moment
-> instabiele situatie -> KNIK

❑ Hoe slanker (langer en/of dunner) de kolom, hoe gevoeliger voor knik

-> vloerbalken kunnen kolom zijdelings steunen en 'knik' voorkomen



SCHEMATISEREN VAN CONSTRUCTIEGEDRAG

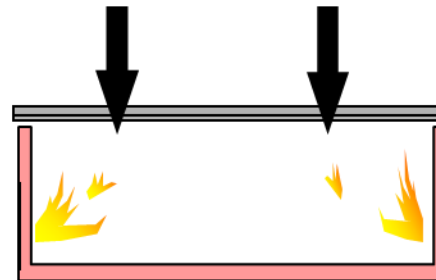
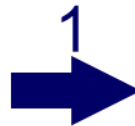
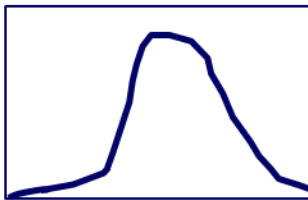
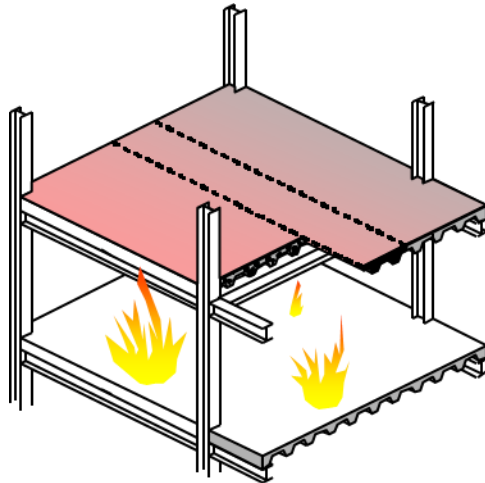
❑ Schematiseren van de constructie

- Componenten
- Deel van de constructie
- Gehele constructie

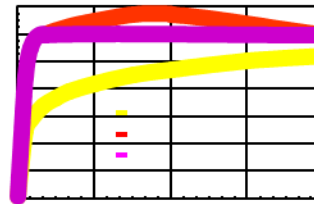


Toenemende complexiteit

❑ Schematiseren van de brand (les 1)



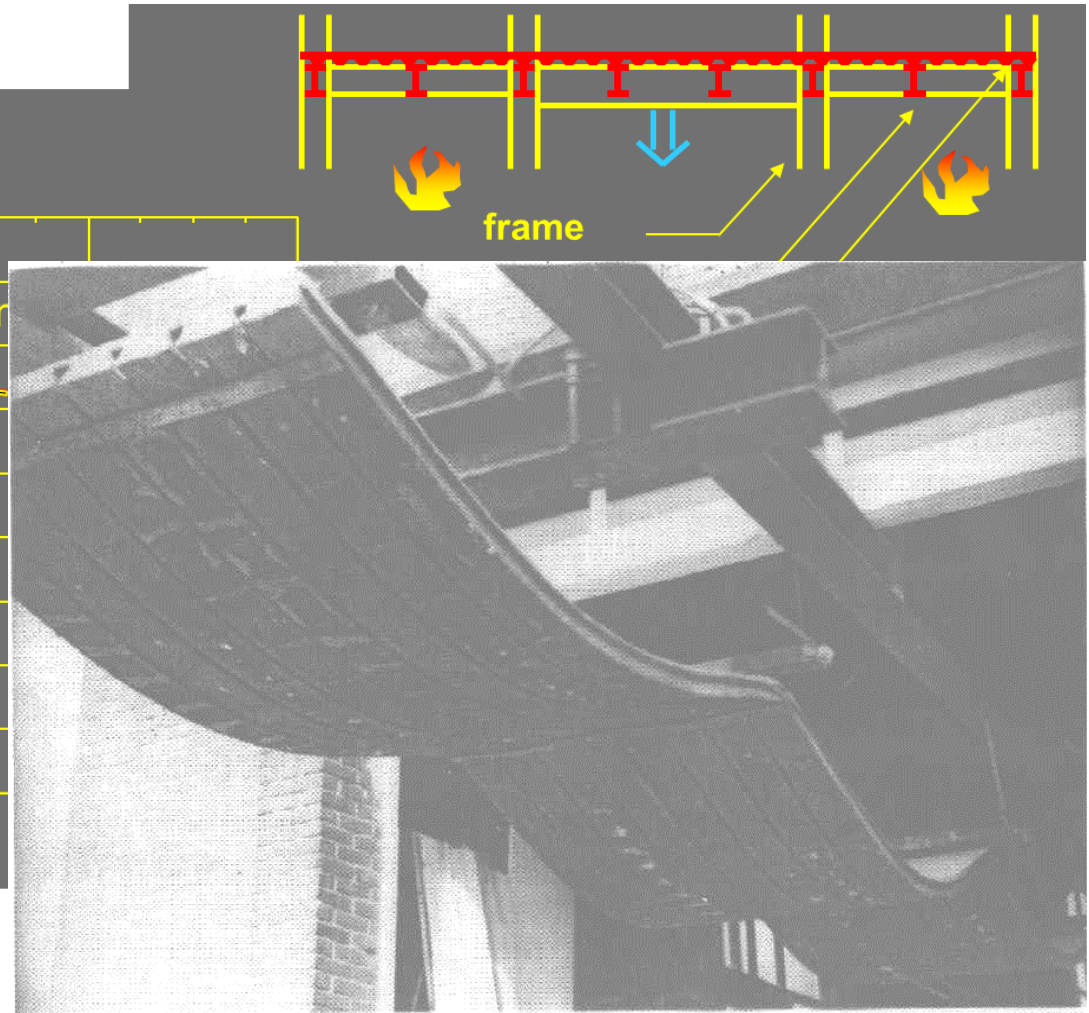
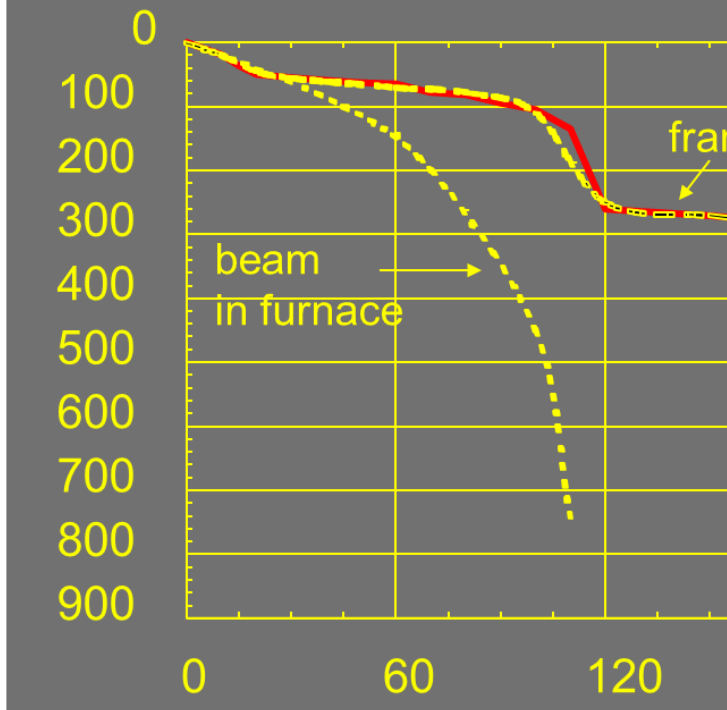
Brandwerendheidsoven



SCHEMATISEREN CONSTRUCTIEGEDRAG

□ Membraam-werking

deflection [mm]



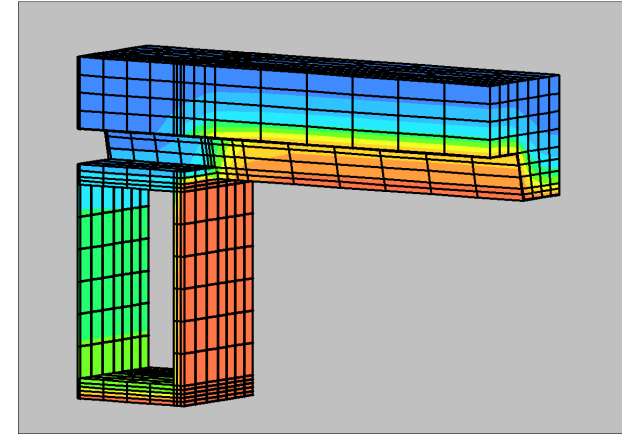
KETEN VAN OPEENVOLGENDE GEBEURTENISSEN



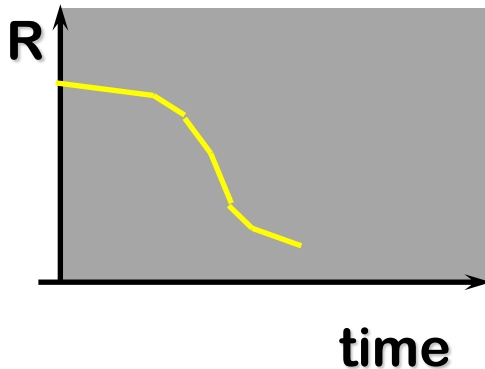
1: Ontsteking



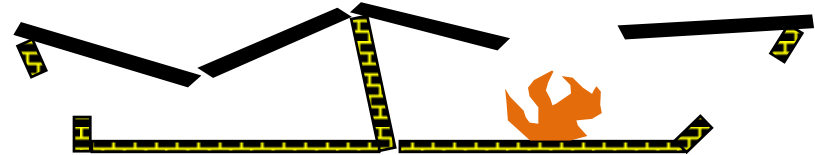
2: Brandontwikkeling



3: Thermische reactie



4: Mechanische reactie



5: Mogelijk verlies van functie

BEPALEN VAN BRANDWERENDHEID - STAPPENPLAN

- ❑ Bepalen thermische respons
 - Brandcurve
 - Warmtestroomberekening naar de constructie
- ❑ Bepalen mechanische respons
 - Reductie van mechanische belasting
 - Schematisering van de constructie
 - Toetsing van bezwijkmechanismen

THERMISCHE RESPONS

- ❑ Brandverloop veelal volgens normatieve curve
 - FSE: tevens parametrische curven of natuurlijke brand

- ❑ Warmtestroomberekening
 - > Wet van Fourier

$$\text{Warmtestroom } q = \lambda \cdot \frac{d\theta}{dx} \quad (\lambda \text{ is warmtegeleidingcoëfficiënt})$$

-> Warmtebalans

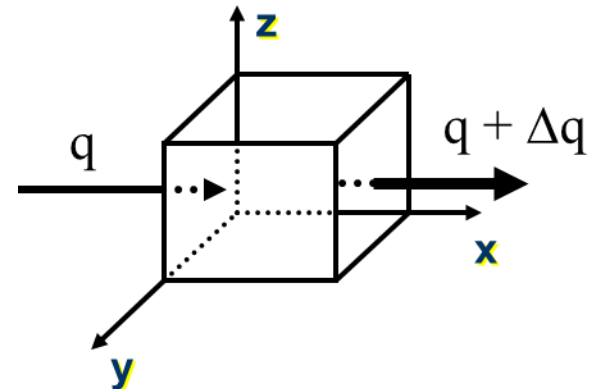
Verschil in toegevoerde warmte q_{in} en afgevoerde warmte q_{uit} = opwarming!

$$\frac{dq}{dx} = d(\rho c_p \theta) / dt$$

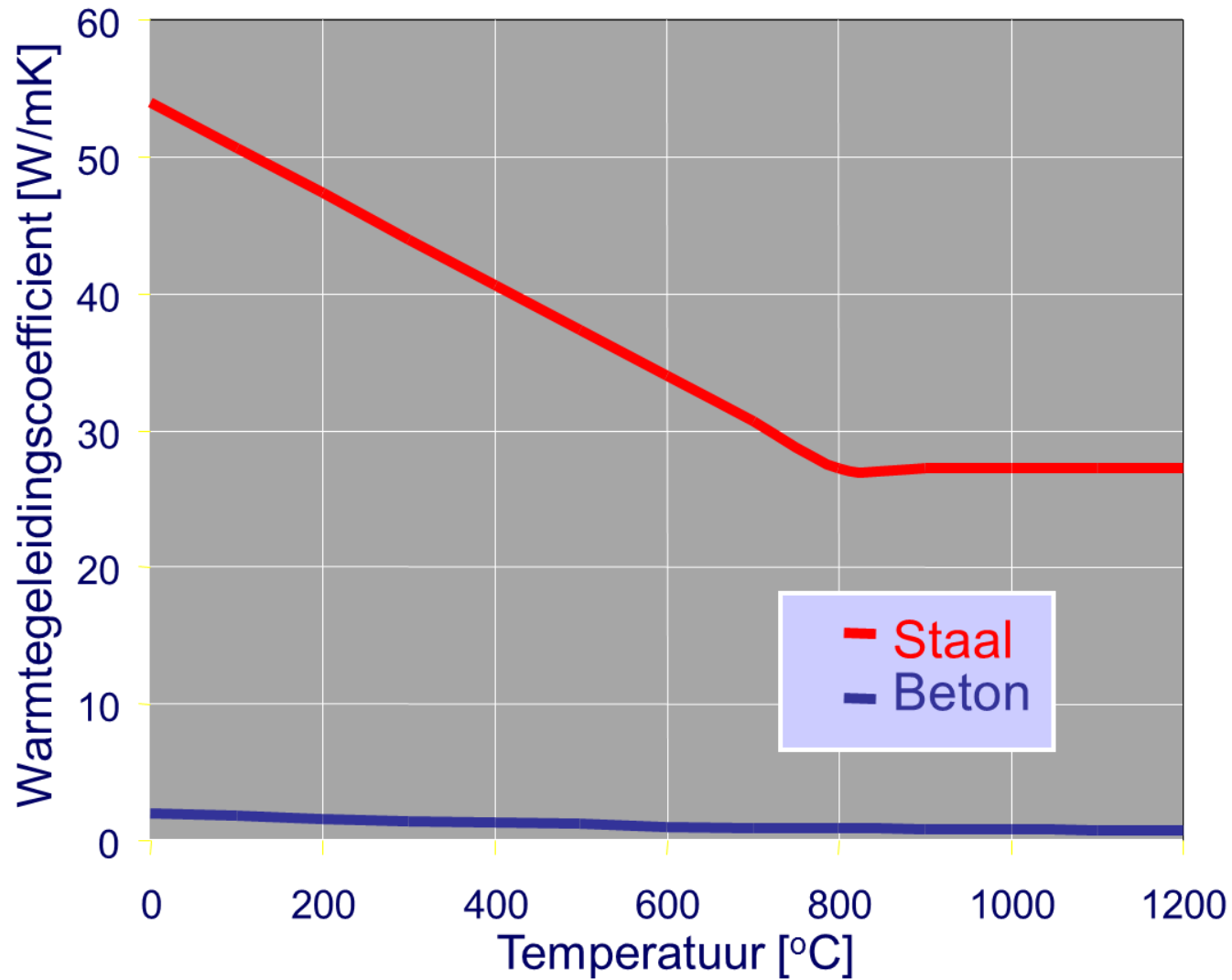
ρc_p = volumieke warmtecapaciteit [$J/m^3 K$]

ρ = dichtheid [kg/m^3]

c_p = specifieke warmte [J/kgK]

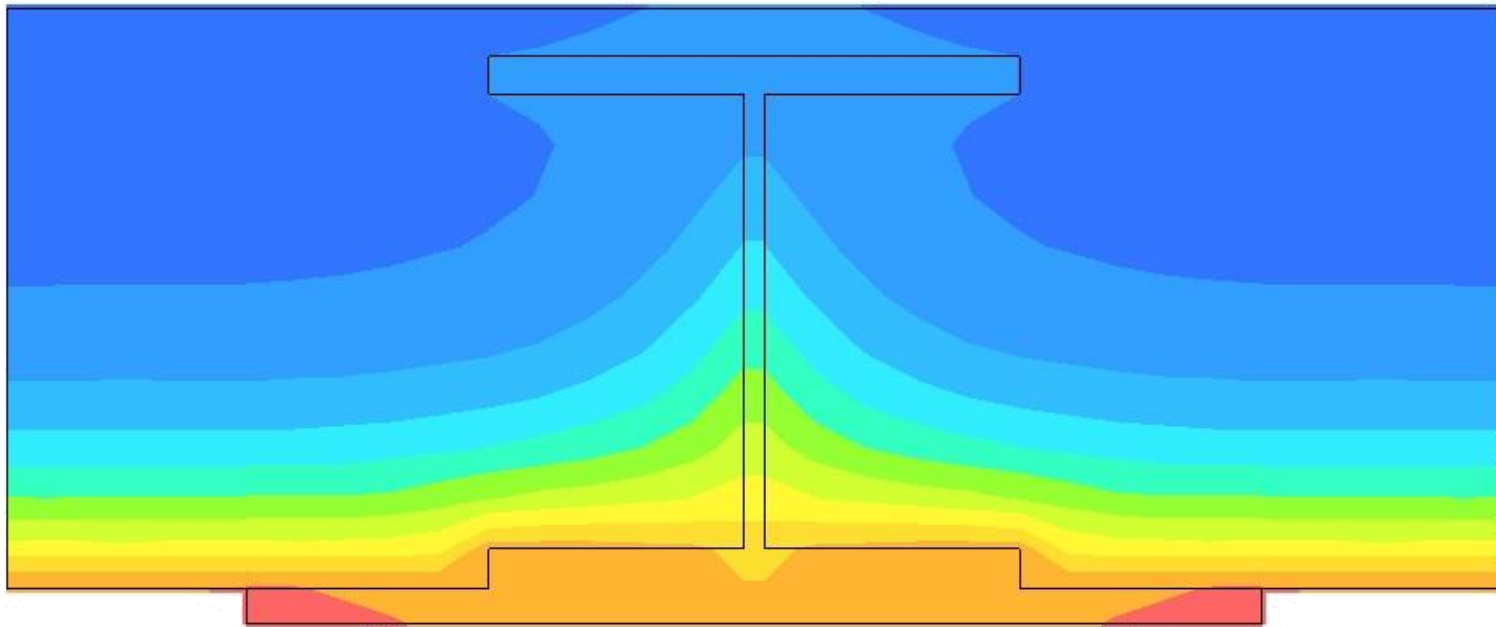


GELEIDING



GELEIDING

- ❑ Voorbeeld geïntegreerde stalen ligger



CONSEQUENTIES λ

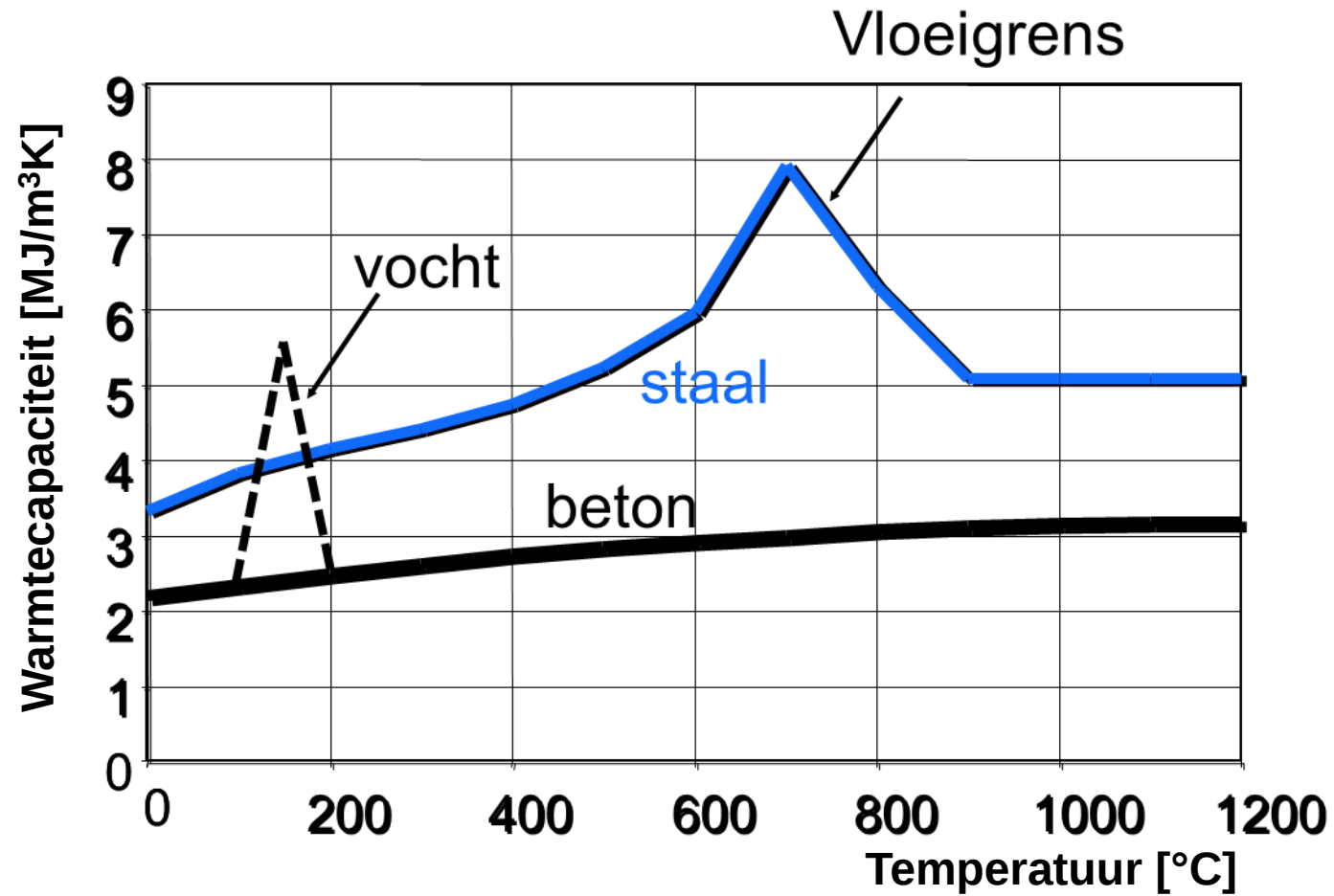
❑ Staal: grote λ

- Diepe warmte indringing
- Uniforme temperatuur
 - Eenvoudige modellen
- Isolatie of integratie onvermijdelijk
 - Staalbetonconstructies

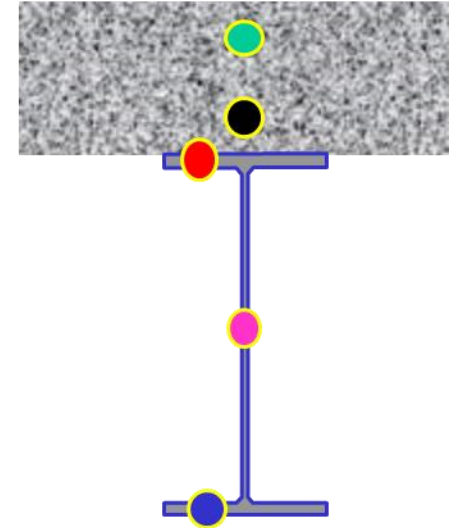
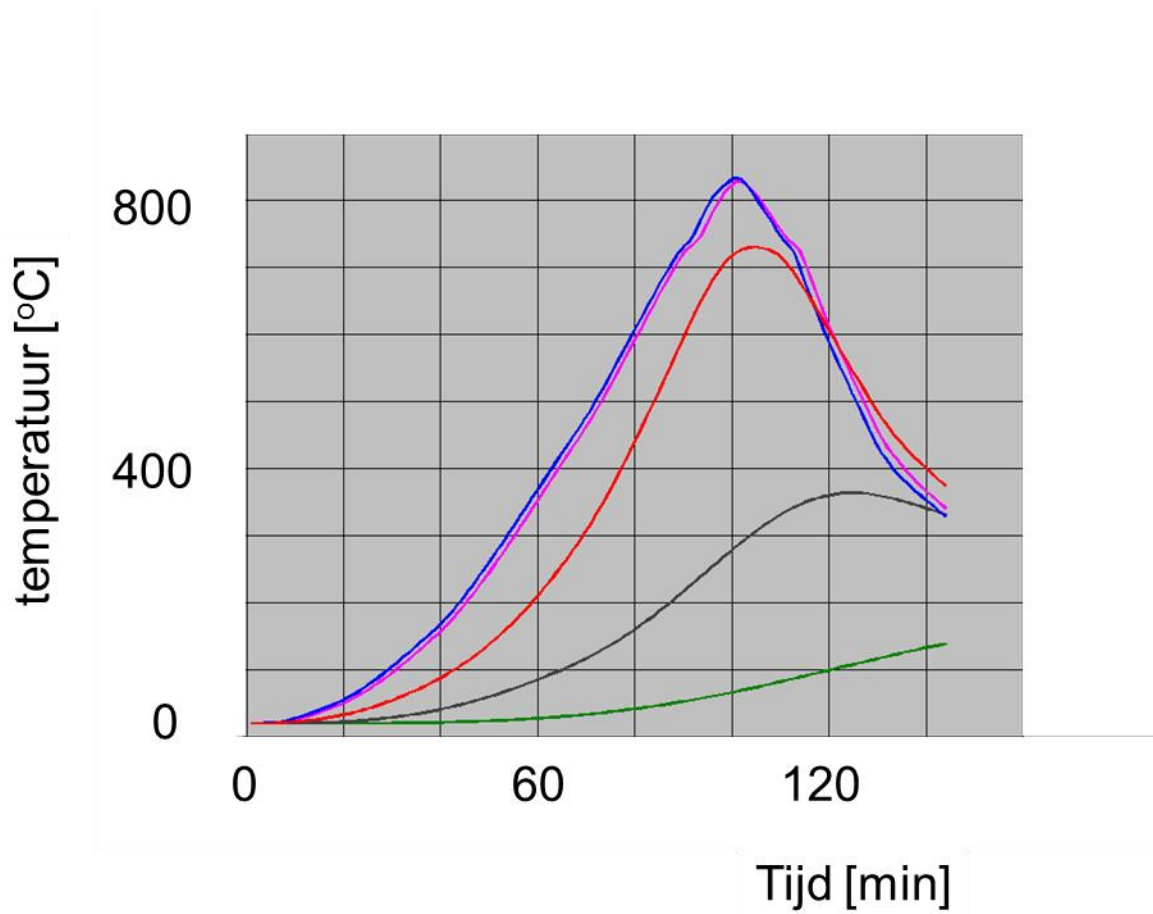
❑ Beton: kleine λ

- Beperkte warmte indringing
- Dekking op de wapening bepalend voor de brandwerendheid
 - Tabellen
- Niet-uniforme temperatuur verdeling
 - Geavanceerde modellen → eenvoudige modellen
- Grote thermische spanningen
- Grote herverdeling van krachten
 - Geavanceerde modellen

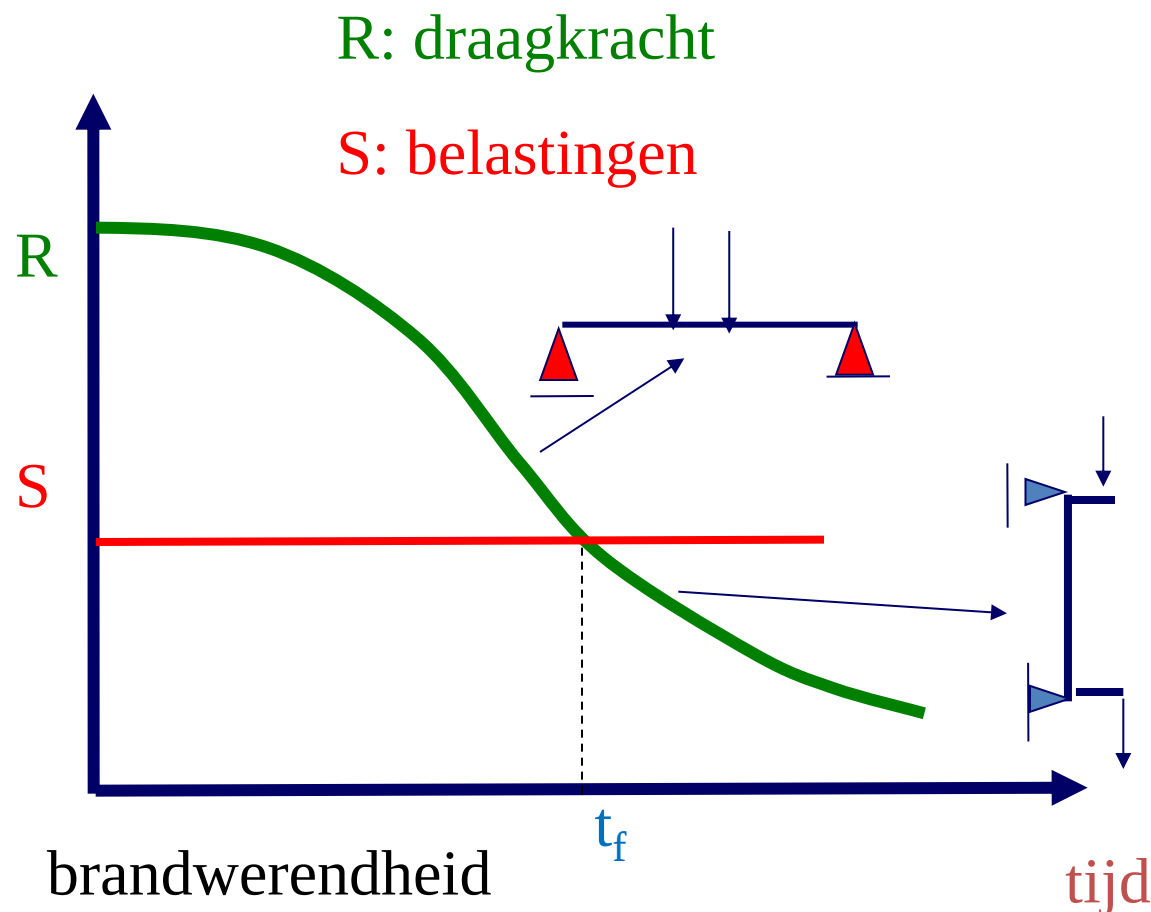
THERMISCHE CAPACITEIT



THERMISCHE RESPONS



BRANDWERENDHEID M.B.T. BEZWIJKEN



Falen op t_f indien:

$$R_t < S_{\text{brand}}$$

with:

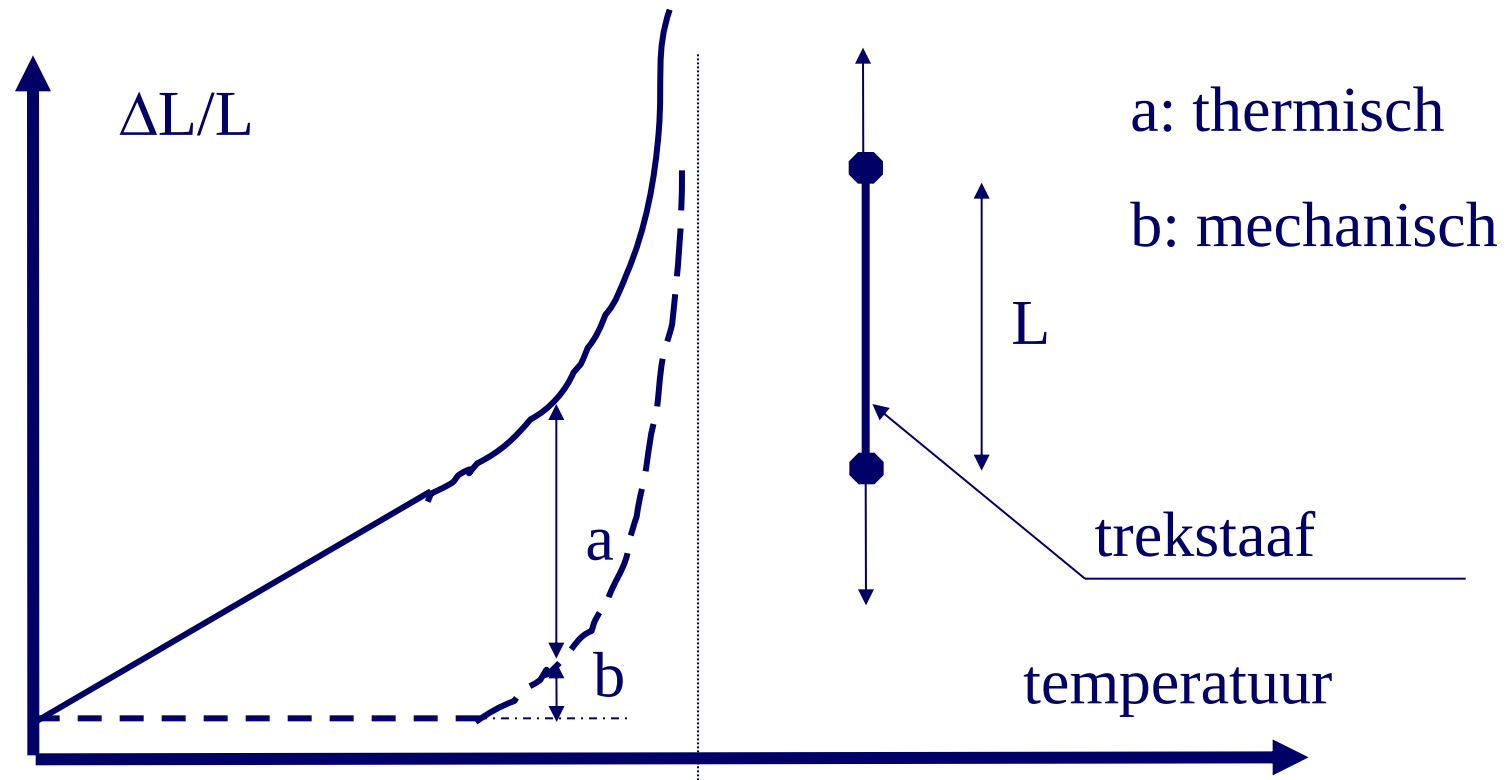
R_t : weerstand op t_f

S_{brand} : belasting op t_f

t_f = brandwerendheid

Let op: t_f o.a. afhankelijk van het “verschil” tussen $R_{20^\circ\text{C}}$ en S_{brand}

THERMISCHE VERVORMING - MECHANISCHE VERVORMING



Thermische vervorming is veel groter dan mechanische vervorming

MECHANISCHE BELASTINGEN

- ☐ Partiële veiligheidsfactoren $\gamma = 1.0$ i.p.v. 1.2 of 1.5
- ☐ Momentane gedeelte maatgevende veranderlijke belasting Ψ

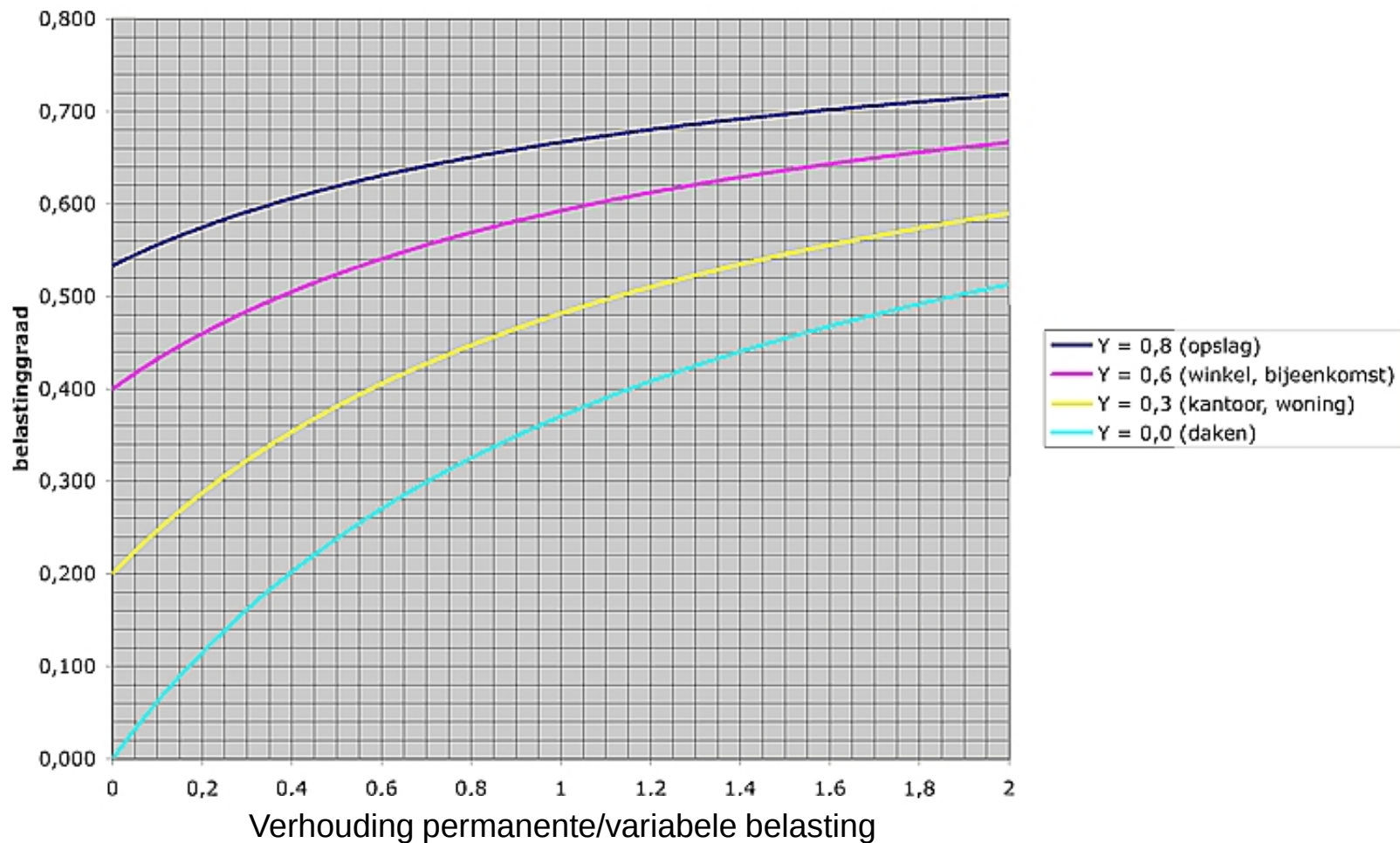
- ☐ Belastinggraad $\mu = S_{\text{brand}} / R_{20}$
- ☐ Reductiefactor $\eta = S_{\text{brand}} / S_{20}$ (Eurocode benadering)

- ☐ Belastinggraad < Reductie factor
 - Per definitie als ontwerp bij 20 °C voldoet

- ☐ $S_{\text{brand}} = Q_{\text{per}} + \Psi \cdot Q_{\text{var}}$
- ☐ $S_{20} = \gamma_{\text{per}} \cdot Q_{\text{per}} + \gamma_{\text{var}} \cdot Q_{\text{var}}$

$$\eta = \frac{S_{\text{brand}}}{S_{20}} = \frac{1 + \Psi \cdot \frac{Q_{\text{var}}}{Q_{\text{per}}}}{\gamma_{\text{per}} + \gamma_{\text{var}} \cdot \frac{Q_{\text{var}}}{Q_{\text{per}}}}$$

REDUCTIE FACTOR BELASTING

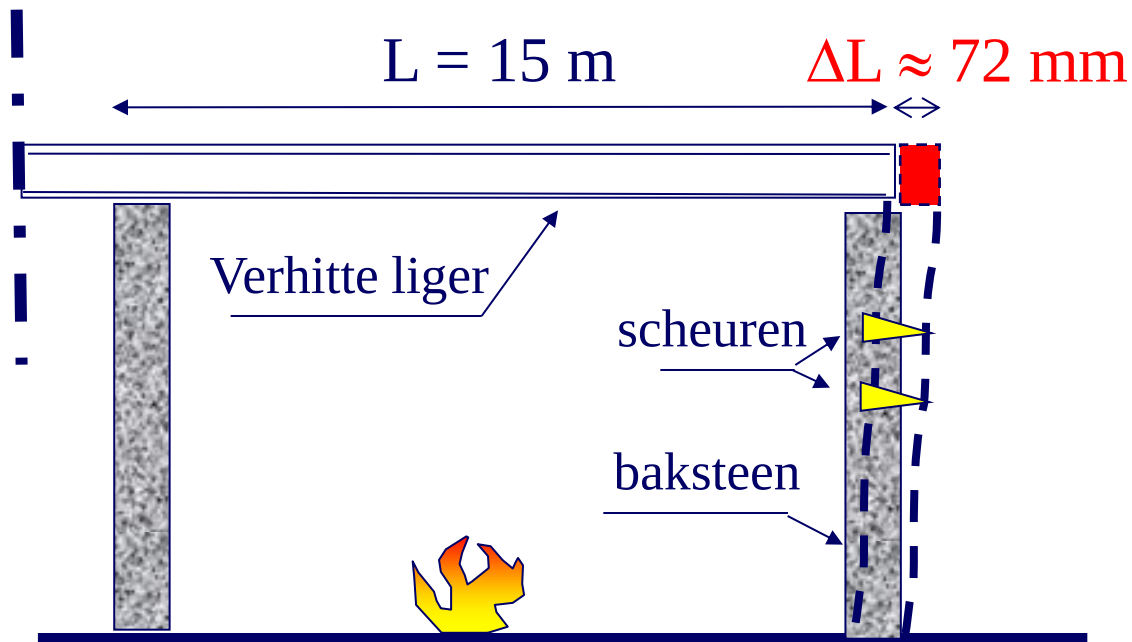


Bron: brandveiligmetstaal.nl

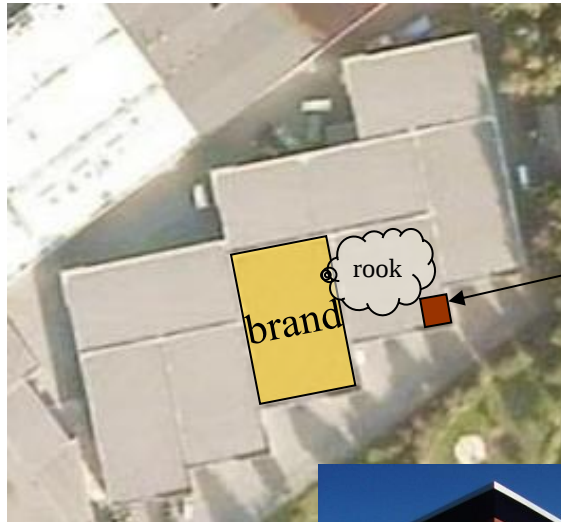
EFFECT VAN THERMISCHE UITZETTING

□ $\Delta T_{\text{staal}} \approx 400 \text{ C}$

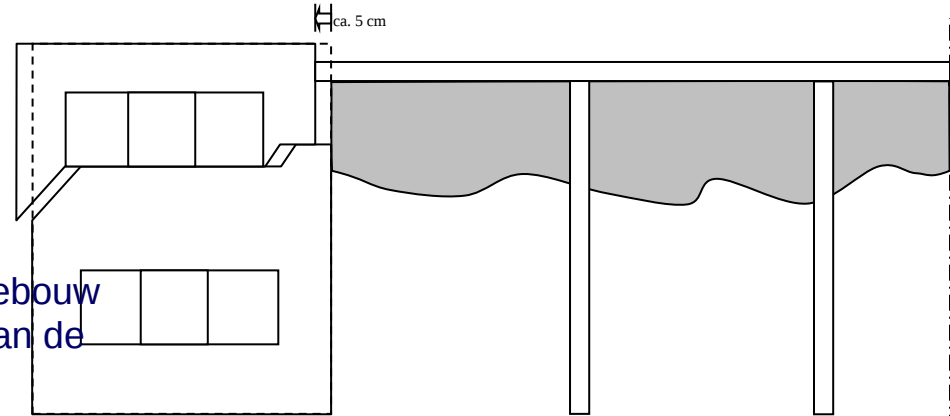
→ Sterkte van liger OK,
maar bezwijken van baksteen muur door vervormingen



EFFECT VAN THERMISCHE UITZETTING



Gemetseld gebouw
op de hoek van de
stalen hal



3B: STAAL CONSTRUCTIES



STAALCONSTRUCTIES: UITGANGSPUNTEN

- ❑ Slechts dragende functie
 - Draagvermogen bij brand

- ❑ Gelijkmatige temperatuurverdeling (goede geleiding)
 - Concept "kritieke staaltemperatuur"
De temperatuur waarbij de sterkte is afgenomen tot een niveau waarop nog net geen bezwijken optreedt.

- ❑ EN 1993-1-2: afname van sterkte en stijfheid bij oplopende temperatuur

BEGRIPPEN “TEMPERATUUR”

- ❑ Kritieke staaltemperatuur:
temperatuur waarbij de staalsterkte zodanig is afgenomen dat de constructie bij het overschrijden van deze temperatuur bezwijkt
- ❑ Optredende staaltemperatuur:
de temperatuur van een (al dan niet geïsoleerd) stalen constructie-element op een gegeven tijdstip.
- ❑ Toets:
de optredende temperatuur op een gegeven tijdstip (bijv. 60 min.) mag niet hoger zijn dan de kritieke temperatuur.
-> $T_{\text{optredend}} \leq T_{\text{kritiek}}$

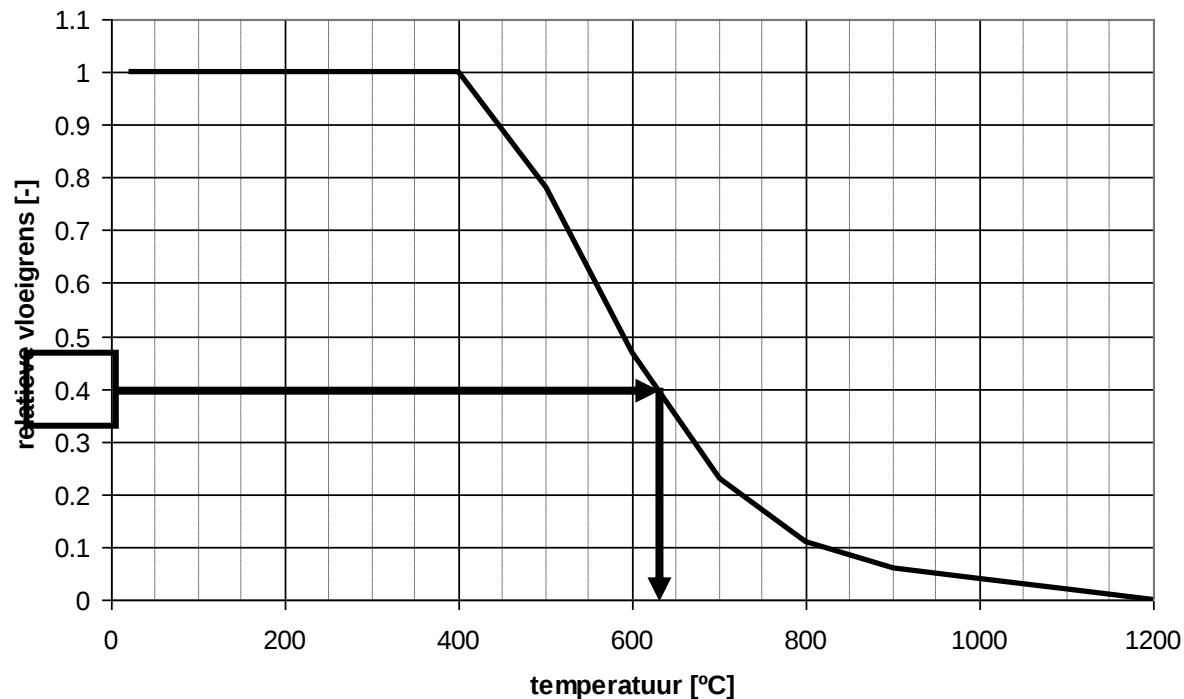
T_{kritiek} gebruikelijk 500-700 °C

-> voor onbeklede constructies wordt vaak 400 °C als veilige waarde gehanteerd

KRITIEKE STAALTEMPERATUUR

- Een ligger is qua mechanische belasting 40% uitgenut.
Dan mag hij 60% van zijn sterkte verliezen. Grafiek -> 630°C

relatieve vloeigrens t.o.v waarde bij 20°C



THERMISCHE RESPONS - ONBEKLEDE STAALCONSTRUCTIES

❑ Onbekleed staal:

❑ Met h_{net} :

- Netto warmtestroom naar binnen

▪

$$h_{net} = \boxed{\text{convectie}} + \boxed{\text{straling}}$$
$$h_{net} = \alpha_{con} \cdot (T_g - T_a) + \sigma \cdot \epsilon_{res} \cdot (T_g^4 - T_a^4)$$

$$\Delta\theta_a = \frac{1}{\rho_a c_a} \cdot \frac{A}{V} \cdot h_{net} \cdot \Delta t$$

Warmtecapaciteit

❑ A = aangestraald oppervlak van ligger

❑ V = verhit volume van ligger

❑ Profielfactor $P = A/V$

- Let op -> reguliere profielfactor $P_{doorsnede} = O_{doorsnede}/A_{doorsnede}$

THERMISCHE RESPONS - EFFECT VAN BRANDWERENDE BEKLEDING

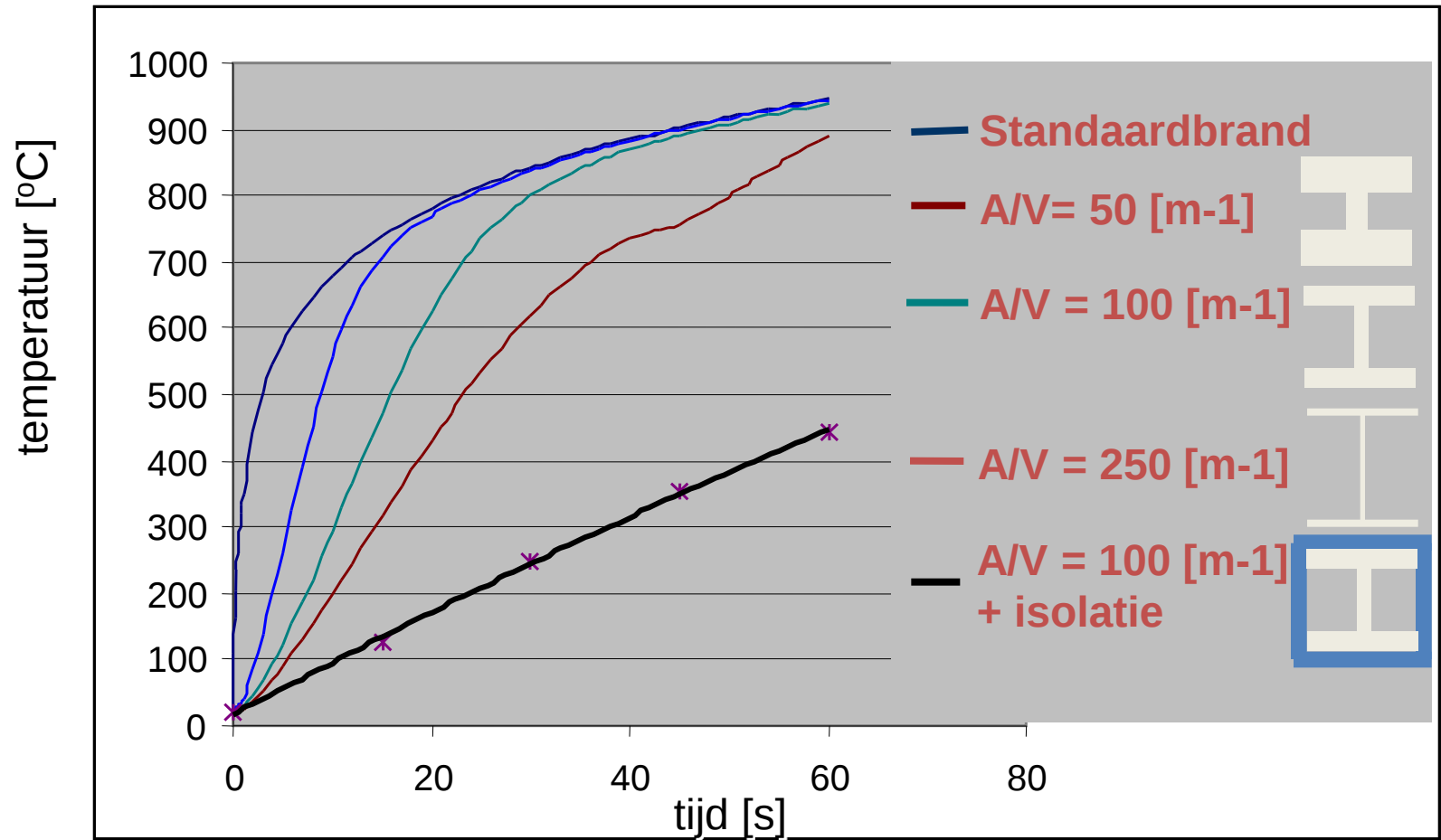
- ❑ Netto warmtestroom naar binnen veel kleiner

$$h_{net} = \frac{\lambda_{iso}}{d_{iso}} \cdot (\theta_g - \theta_a)$$

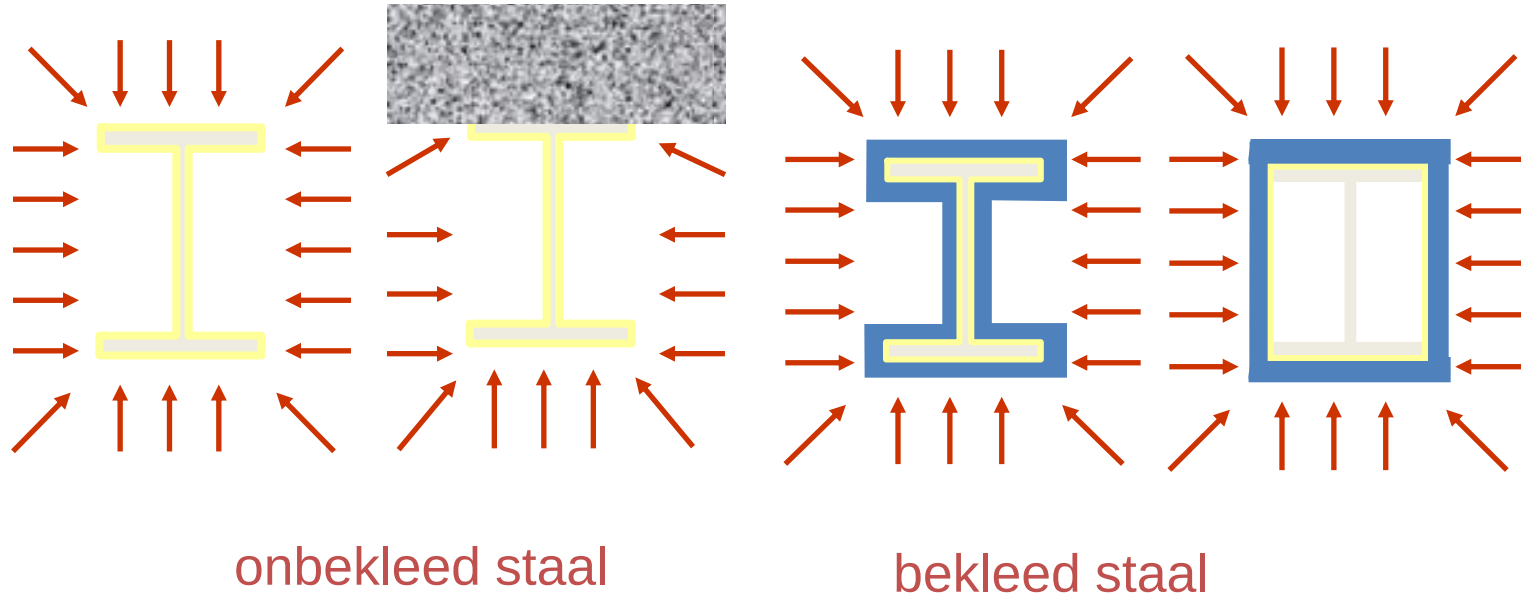
Bij $\lambda_{iso} = 0.15$ en $d_{iso} = 15$ mm
➔ $h_{net} = 0.15 / 0.015 = 10$ W/m²K

- ❑ Isolatie neemt ook warmte op
 - Extra termen in vergelijking om warmteaccumulatie mee te nemen
- ❑ Eigenschappen van isolatie bepalen in proeven
 - EN 13381-4
 - NEN 6072

TEMPERATUURVERLOOP IN STAALPROFIELEN

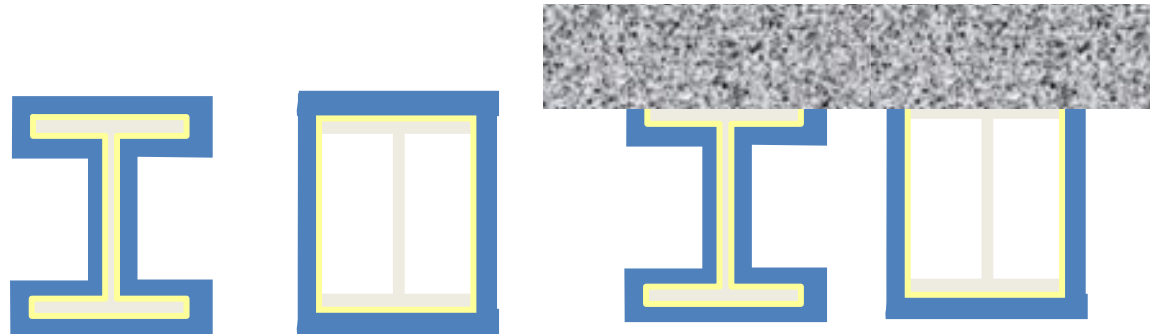


PROFIELFACTOR VOOR STAALPROFIELEN



Definitie: verhouding tussen “oppervlak waarlangs warmte aan staal word toegevoerd” en “staal volume”

PROFIELFACTOR (A/V): NUMERIEKE WAARDEN



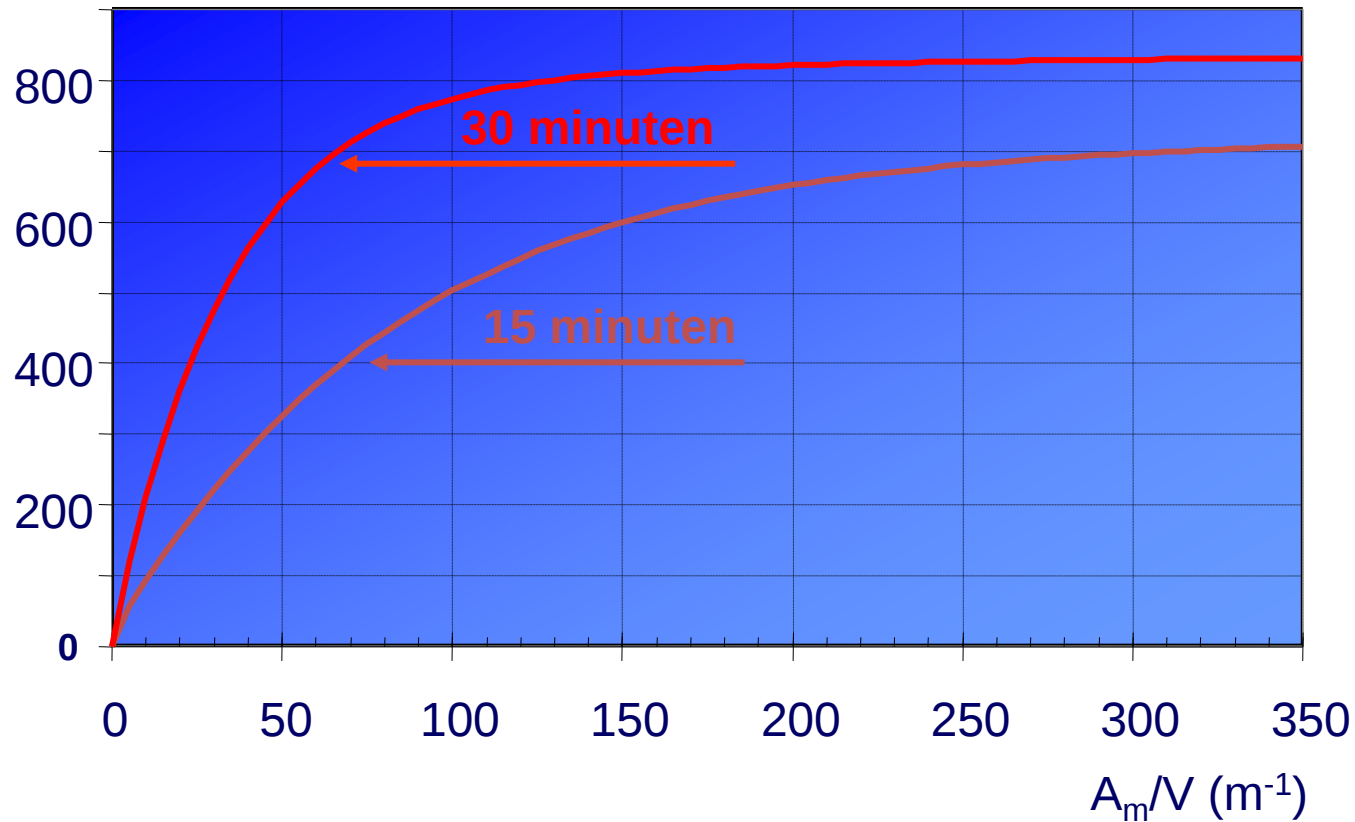
IPE100	387	300	334	247
HE280A	165	113	136	84
HE320B	110	77	91	58

NB: range: $\approx 50-400 \text{ [m}^{-1}\text{]}$

THERMISCHE RESPONS - ONBEKLEED STAAL, PROFIEL FACTOR

- Staaltemperatuur als functie van de profielfactor voor onbekleed staal

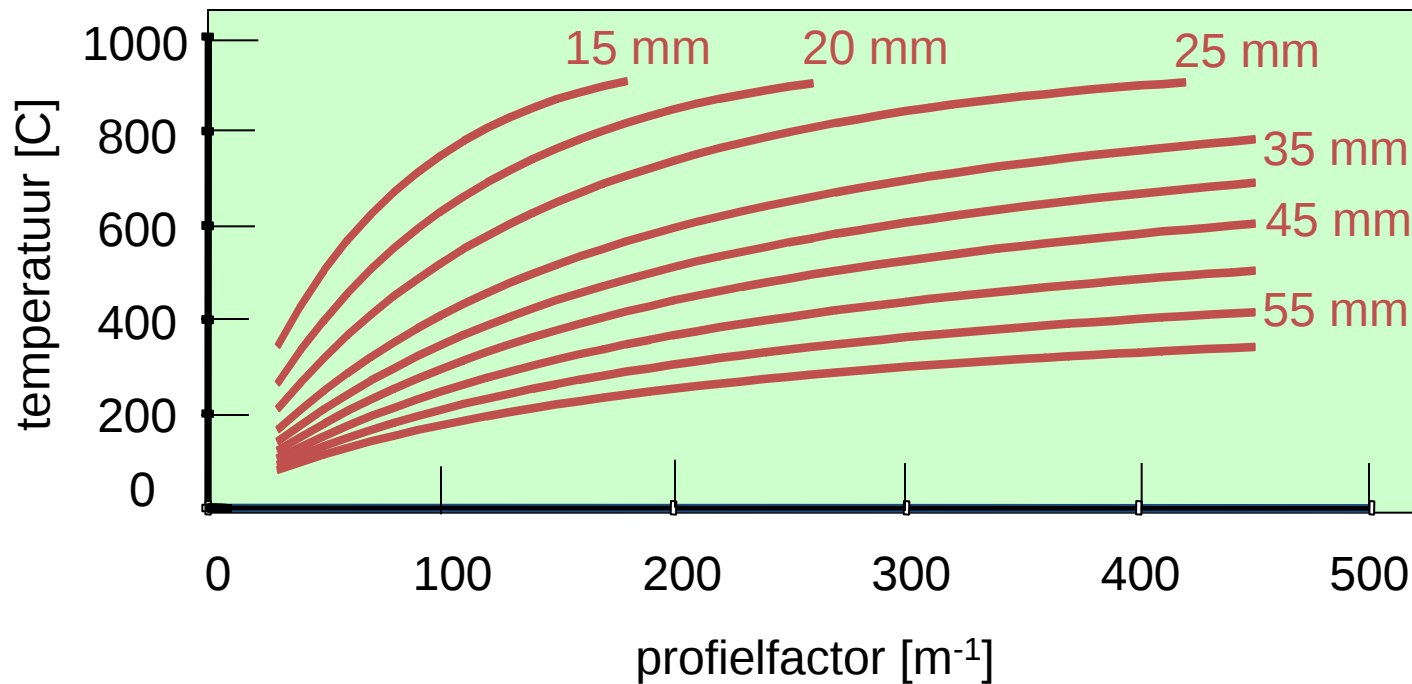
temperatuur [°C]



THERMISCHE RESPONS - BEKLEED STAAL, PROFIELFACTOR

- ❑ Staaltemperatuur als functie van de profielfactor: Bekleed staal
(bekleed met een fictief materiaal, grafiek als in het testrapport)

brandwerendheid: 90 min.



MECHANISCHE RESPONS

☐ Bezwijken

- uiterste grenstoestand
- vervormingen zijn slechts indicatief

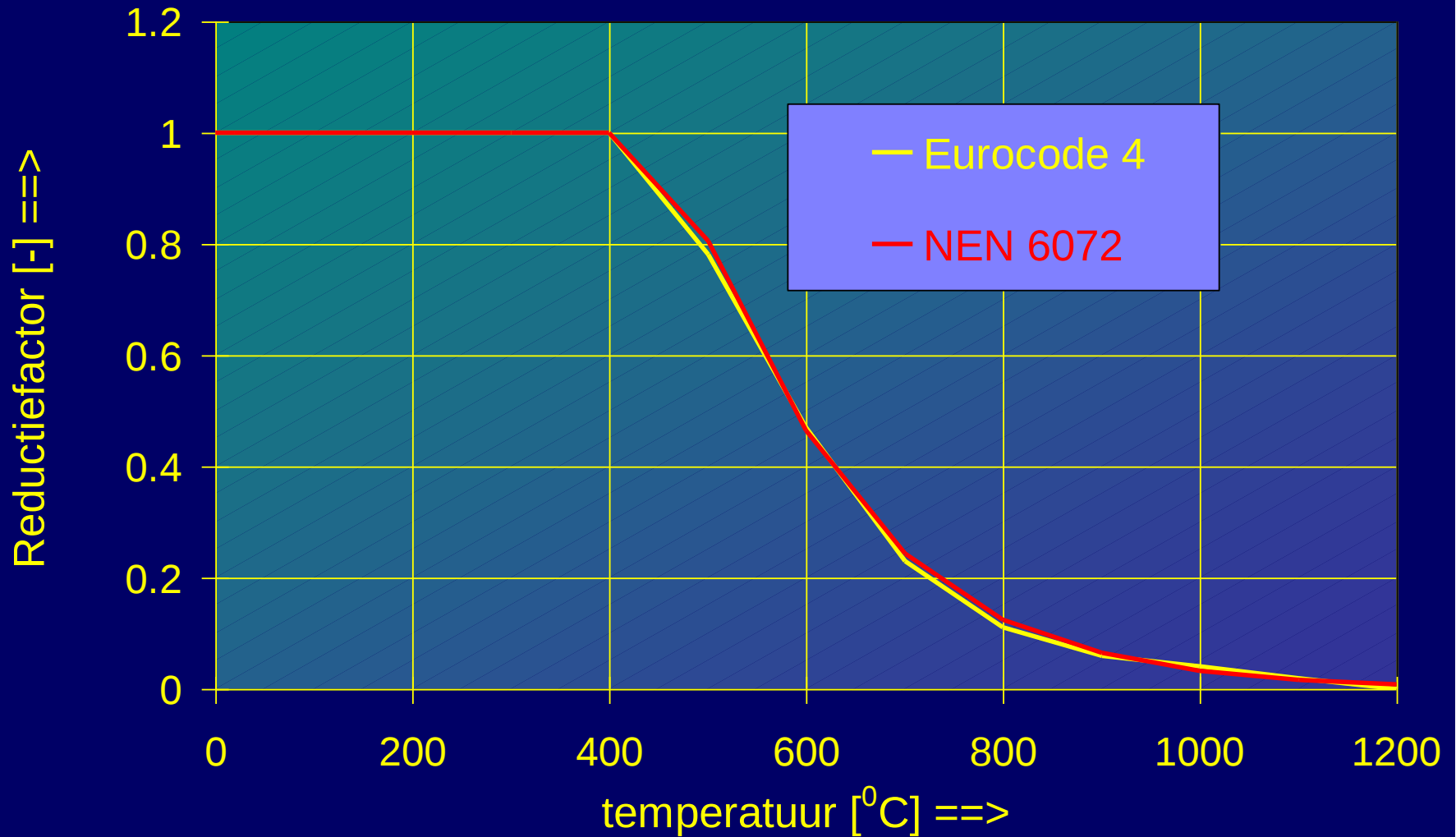
☐ Plasticiteitstheorie

- Door thermische uitzetting is elasticiteitstheorie niet toepasbaar.
- Klasse 1 profielen
 - Alle warmgewalste profielen

PLASTICITEIT BIJ BRAND



REDUCTIE VLOEIGRENS



STAALCONSTRUCTIES: REKENPROCEDURE

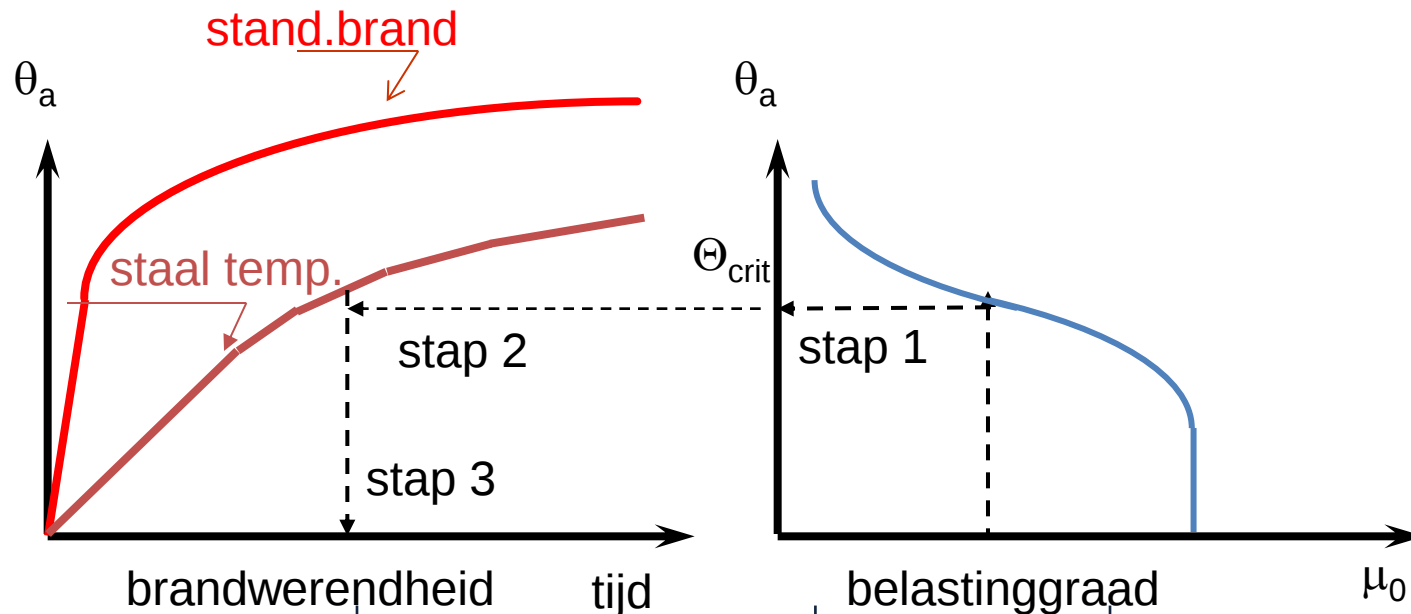
- ❑ Stap 1: bepaal belastinggraad: $\mu \rightarrow \theta_{crit}$
- ❑ Stap 2: bepaal thermische respons $\rightarrow \theta_a$
- ❑ Stap 3: bepaal brandwerendheid $\rightarrow \theta_{crit} = \theta_a$

Let op - vuistregel voor staal:

- onbeschermd: $\approx 10 - 30$ min

- beschermd: 30 to > 120 min

Afhankelijk van belastingsgraad, profielfactor (en isolatie)



VEILIGE WAARDEN KRITIEKE STAALTEMPERATUUR BIJ HET ONTWERP VAN STAALCONSTRUCTIES

- ☐ Deze waarden kun je veilig gebruiken als je de echte belastinggraad (stap 1 uit de vorige sheet) niet beschikbaar hebt

onderdeel		kritieke staaltemperatuur θ_{cr} [°C]		
		ligger onder vloer/dak	trekstaaf	kolom
vloer	wonen	565	535	520
	kantoor	575	550	530
	bijeenkomst	575	550	525
	winkel	570	540	505
	opslag	560	530	535
	parkeren voertuigen tot 2,5 ton	550	520	515
	parkeren voertuigen tot 12 ton	605	580	565
dak	zwaar	535	–	–
	licht	695	–	–

Bron: Bouwen met Staal

REKENPROCEDURE

- 1: Belasting bij brand $q_{\theta;d}$
- 2: Belasting bij kamertemperatuur q_d
- 3: Belastinggraad $\eta = q_{\theta;d} / q_d$
- 4: Gecorrigeerde belastinggraad $\kappa\eta$
- 5: Kritieke staaltemperatuur $\theta_{a;cr}$
- 6: Profielfactor P
- 7: Staaltemperatuur θ_a behorend bij eis
- 8: Controle $\theta_a \leq \theta_{a;cr}$

CORRECTIEFACTOR K

- ❑ 3-zijdige verhitting: 0.7
 - Afkoeling naar niet verhitte zijde zit niet in opwarmingsformule
- ❑ Statisch onbepaalde liggers: 0.85
 - Koelere zone bij oplegging zit niet in opwarmingsformule
- ❑ 3-zijdig verhitte statisch onbepaalde ligger: 0.6
- ❑ Kolommen: 1.2
 - Thermische spanningen niet beschouwd
 - Nadelig effect op stabiliteit
 - Stijfheid sneller af dan sterkte

- 1: Belasting bij brand $q_{\theta;d}$
- 2: Belasting bij kamertemperatuur q_d
- 3: Belastinggraad $\eta = q_{\theta;d} / q_d$
- 4: Gecorrigeerde belastinggraad $K\eta$**
- 5: Kritieke staaltemperatuur $\theta_{a;cr}$
- 6: Profielfactor P
- 7: Staaltemperatuur θ_a behorend bij eis
- 8: Controle $\theta_a \leq \theta_{a;cr}$

REKENVOORBEELD - ONBESCHERMDE LIGGER

- ☐ Statische bepaalde ligger:
- ☐ Afmetingen
 - $L = 10.5 \text{ m}$, h.o.h. $B = 3.5 \text{ m}$
- ☐ Permanente en variabele belastingen
 - $G = 4.2 \text{ kN/m}^2$,
 - $Q = 5 \text{ kN/m}^2$,
 - Industrie: momentaanfactor: $\Psi = 0.8$
- ☐ Staalprofiel
 - Profieltype HEA 550, sterkteklasse S235

- ☐ Eis: 30 minuten brandwerendheid

REKENVOORBEELD - ONBESCHERMDE LIGGER

❑ Optredende belasting bij brand

- $q_{Sd,\theta} = (G + \Psi \cdot Q) \cdot B$
- $q_{Sd,\theta} = (4.2 + 0.8 \cdot 5) \cdot 3.5 = 28.7 \text{ kN/m}$

❑ Opneembare belasting van de ligger

- $q_{d;20} = 8 \cdot f_y \cdot W_{pl} / L^2$
- S235 -> $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$
- HEA550 -> $W_{pl} = 4622000 \text{ mm}^3$
- $q_{d;20} = 8 \cdot 235 \cdot 4622000 / 10500^2 = 78.8 \text{ N/mm} = 78.8 \text{ kN/m}$

CORRECTIEFACTOR K

- ❑ 3-zijdige verhitting: 0.7
 - Afkoeling naar niet verhitte zijde zit niet in opwarmingsformule
- ❑ Statisch onbepaalde liggers: 0.85
 - Koelere zone bij oplegging zit niet in opwarmingsformule
- ❑ 3-zijdig verhitte statisch onbepaalde ligger: 0.6
- ❑ Kolommen: 1.2
 - Thermische spanningen niet beschouwd
 - Nadelig effect op stabiliteit
 - Stijfheid sneller af dan sterkte

ONBESCHERMDE LIGGER

❑ $q_{d;20} = 78.8 \text{ kN/m}$

❑ $q_{Sd,\theta} = 28.7 \text{ kN/m}$

❑ $\kappa = 0.7$

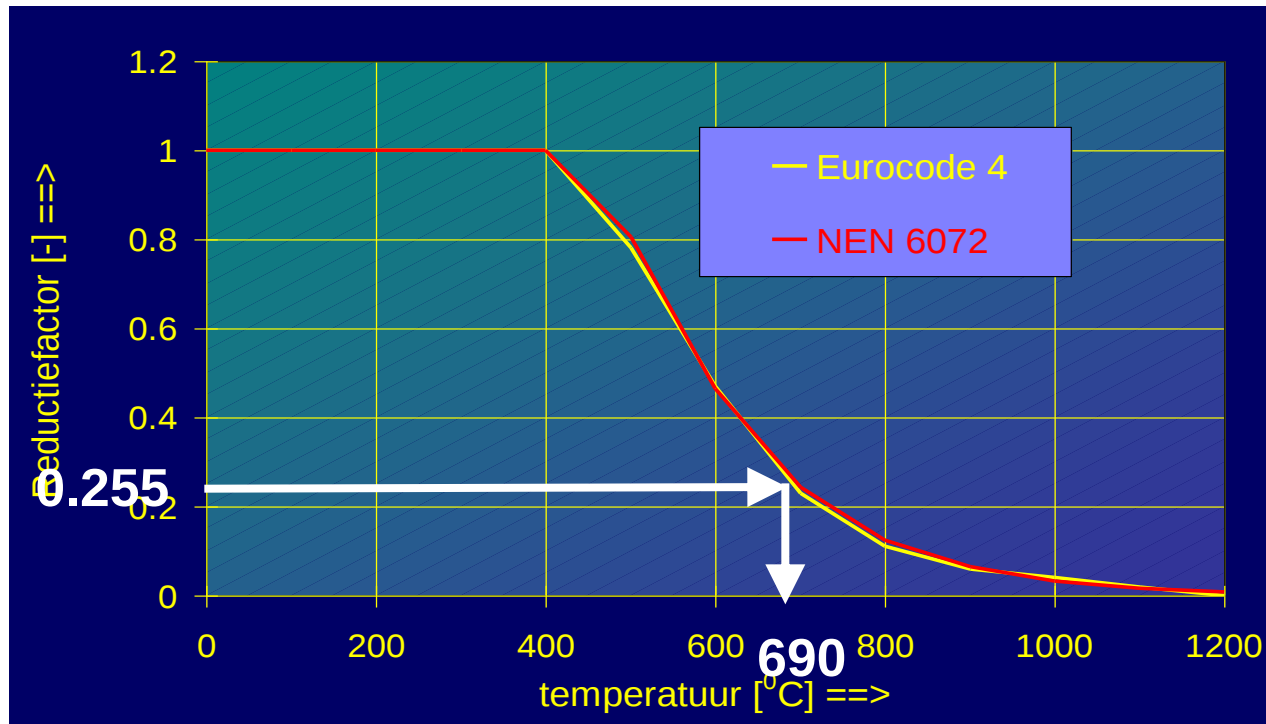
❑ Belastinggraad:

▪ $\eta = \kappa \cdot q_{Sd,\theta} / q_{d;20} = 0.255$

ONBESCHERMDE LIGGER

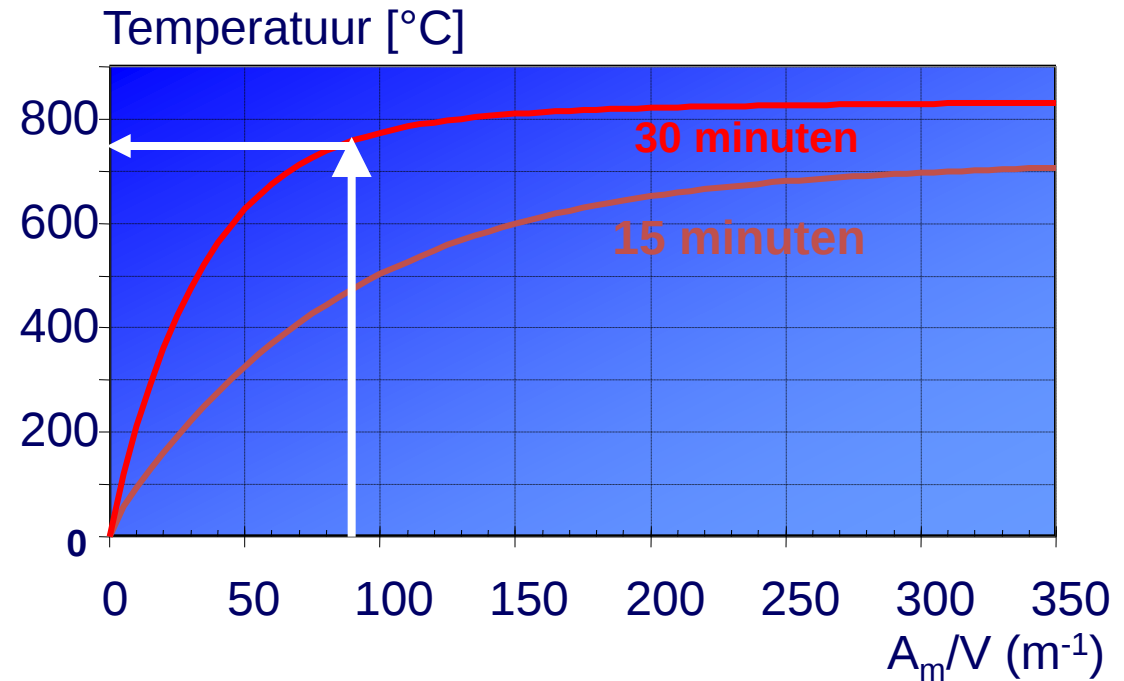
❑ Kritieke staaltemperatuur (dus waarbij het bouwdeel bezwijkt)

- $\eta = 0.255 \rightarrow$ grafiek $\rightarrow \theta_{a,cr} = 690^\circ\text{C}$



ONBESCHERMDE LIGGER

- ❑ Optredende staaltemperatuur na 30 minuten
- ❑ HEA550 -> $A_m/V = 90 \text{ m}^{-1}$
- ❑ Lees af:
- ❑ $\theta_a = 734 \text{ °C}$



ONBESCHERMDE LIGGER

- ☐ Kritieke staaltemperatuur (dus waarbij het bouwdeel bezwijkt) = 690 °C
- ☐ Optredende staaltemperatuur na 30 minuten = 734 °C
- ☐ $\theta_a > \theta_{a;cr}$
- ☐ NIET OK

VERBETEROPTIES ONBESCHERMDE LIGGER

- ☐ HEB550 i.p.v. HEA550
- ☐ S355 i.p.v. S235
- ☐ doorgaand over twee velden i.p.v. statisch bepaald

VERBETEROPTIES

Stap	Basis	HEB550	S355	St.
$q_{\theta;Sd}$	28.7	28.7	28.7	28.7
q_{Rd}	78.8	95.3	119.1	114.3
η	0.36	0.30	0.24	0.25
κ	0.7	0.7	0.7	0.7·0.85
$\theta_{a;cr}$	690	720	755	773
P	90.2	75.6	90.2	90.2
$\theta_{a;30}$	734	704	734	734
Toets	X	OK	OK	OK

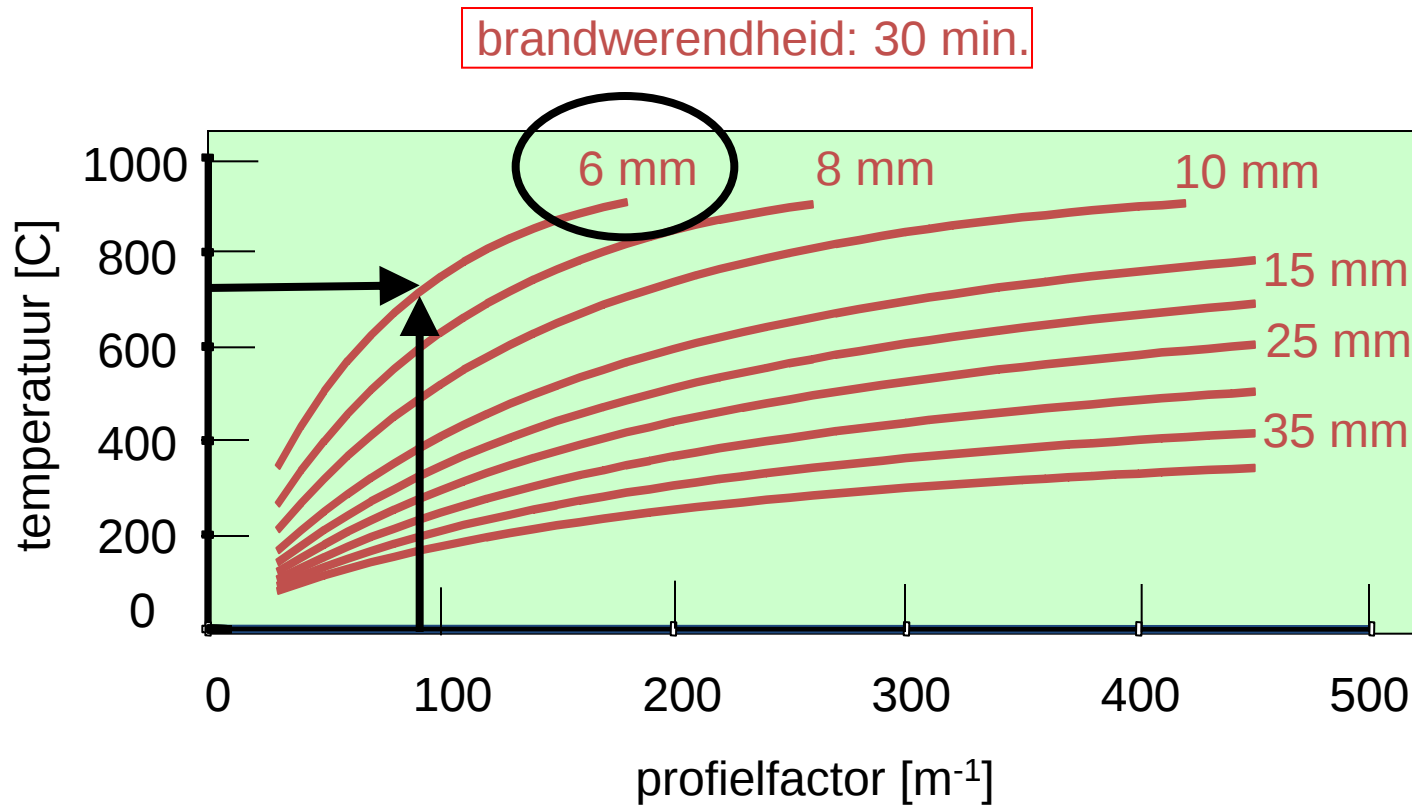
BESCHERMDE LIGGER

- ❑ En hoeveel dikte van materiaal X is nodig om wel 30 minuten te halen?

- ❑ Gegevens bekend uit vorige berekening:
 - $\theta_{a;cr} = 690 \text{ }^{\circ}\text{C}$
 - $A_m/V = 90 \text{ m}^{-1}$

BENODIGDE BEKLEDING LIGGER

- ❑ Staaltemperatuur als functie van de profielfactor: Bekleed staal (bekleed met een fictief materiaal, grafiek als in het testrapport)



STAAL CONSTRUCTIES: VORMEN VAN BESCHERMING

- ☐ Beplating voor brandwerende toepassingen
- ☐ Spuitmortel voor brandwerende toepassingen
- ☐ Bij verhitting opschuimende coating

- ☐ Integratie met beton

INTUMESCENT COATING

BEFORE



AFTER HEATING



SPRAY MORTAR



BOARD MATERIAL BEFORE



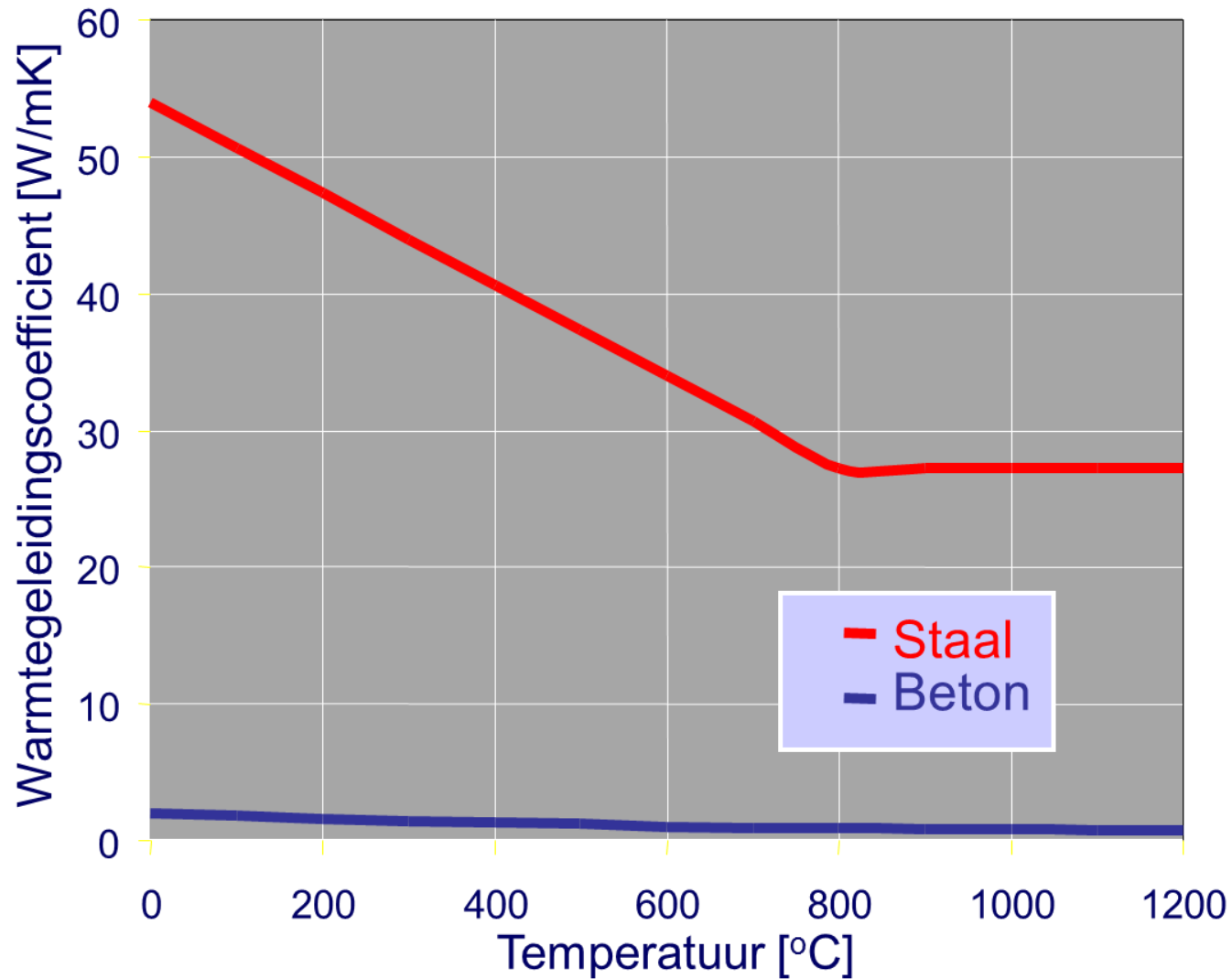
AFTER HEATING



3C: BETON CONSTRUCTIES

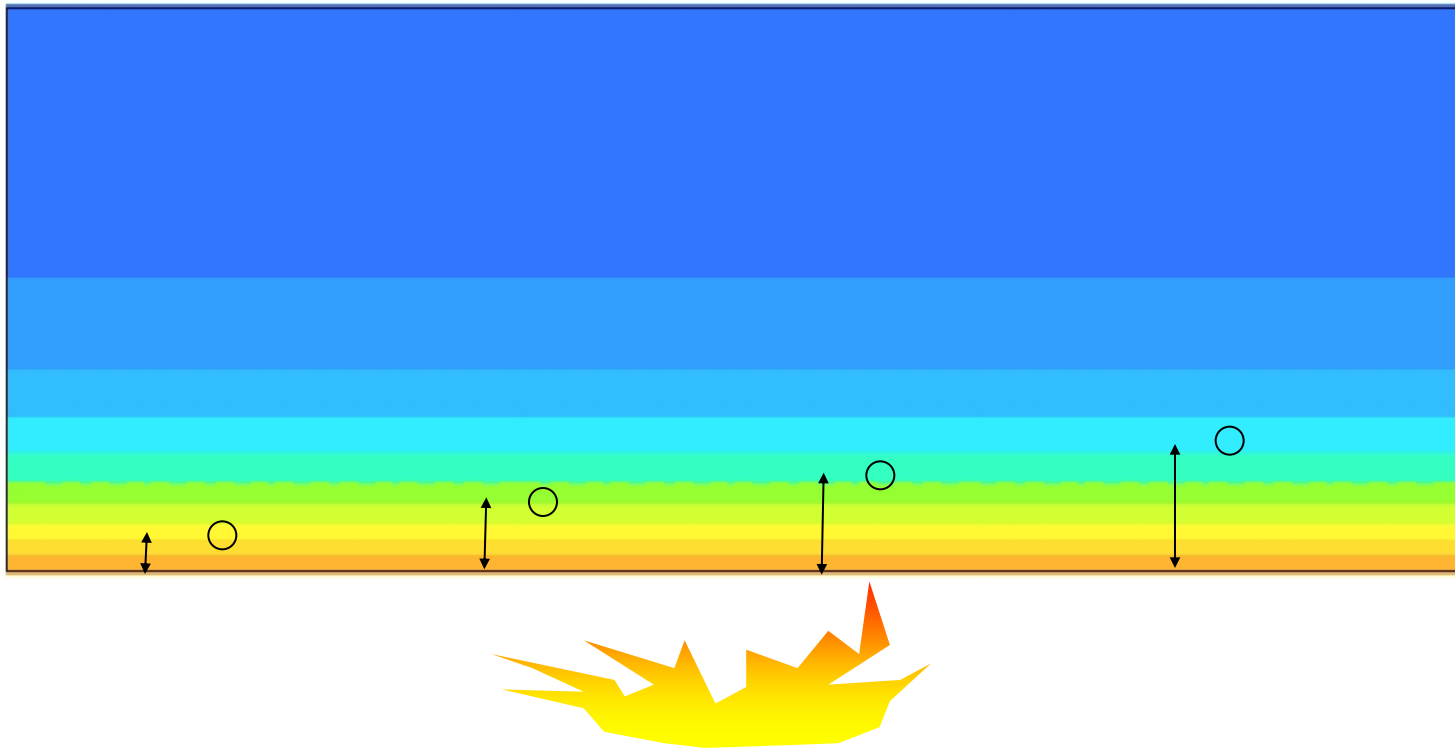


THERMISCH GEDRAG



GEWAPEND BETON

- ❑ Wapening neemt trekkrachten op en mag niet te warm worden
 - Diepte van de wapening bepalend



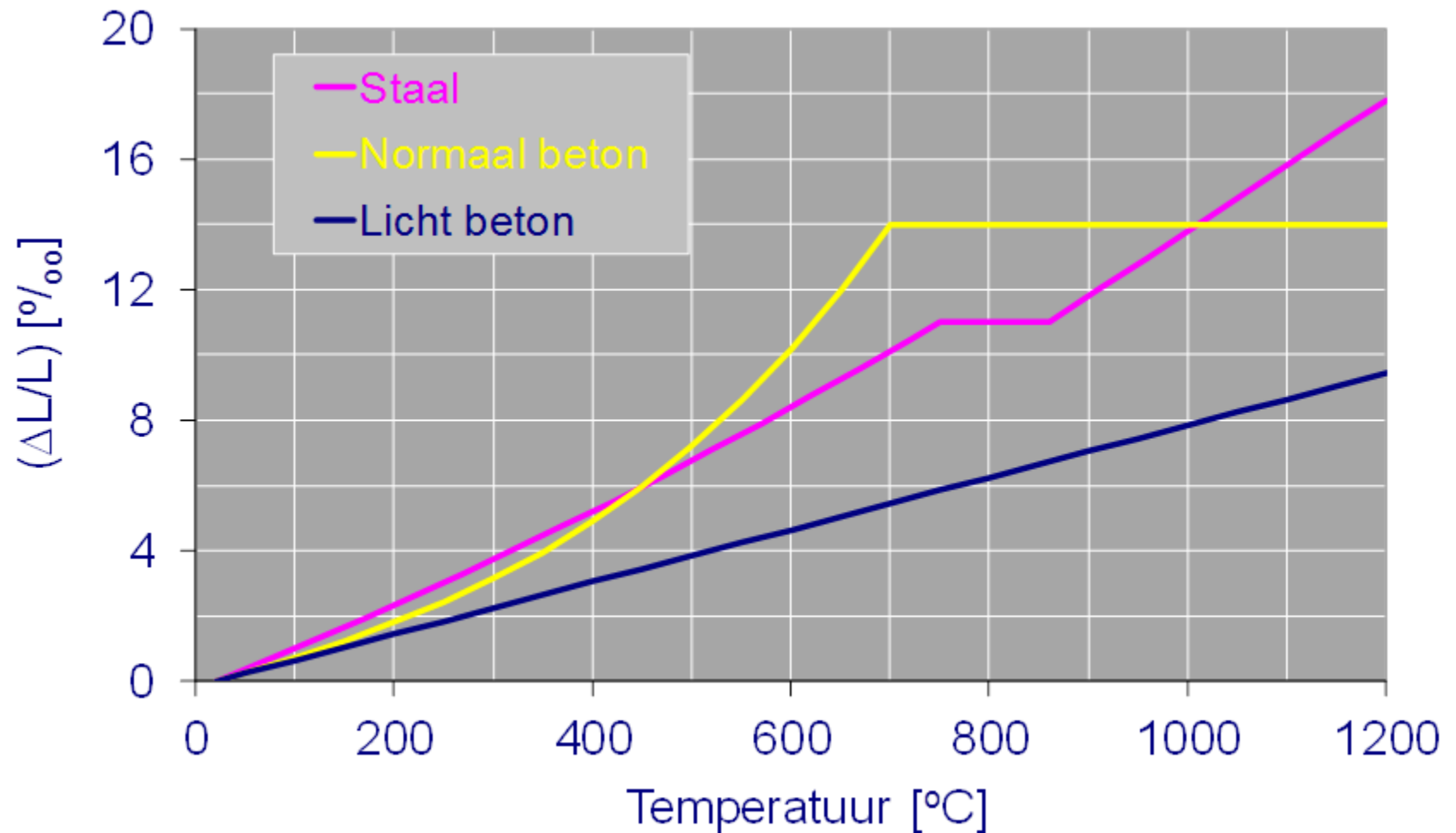
VOORGESPANNEN BETON

- ❑ Voorspanwapening warmt op
 - Verliest sterkte sneller dan normale wapening
 - Verliest de vooraf aangebrachte spanning
- ❑ Daarom strengere temperatuurseis
- ❑ Om daaraan te voldoen: grotere betondekking nodig dan bij gewone wapening

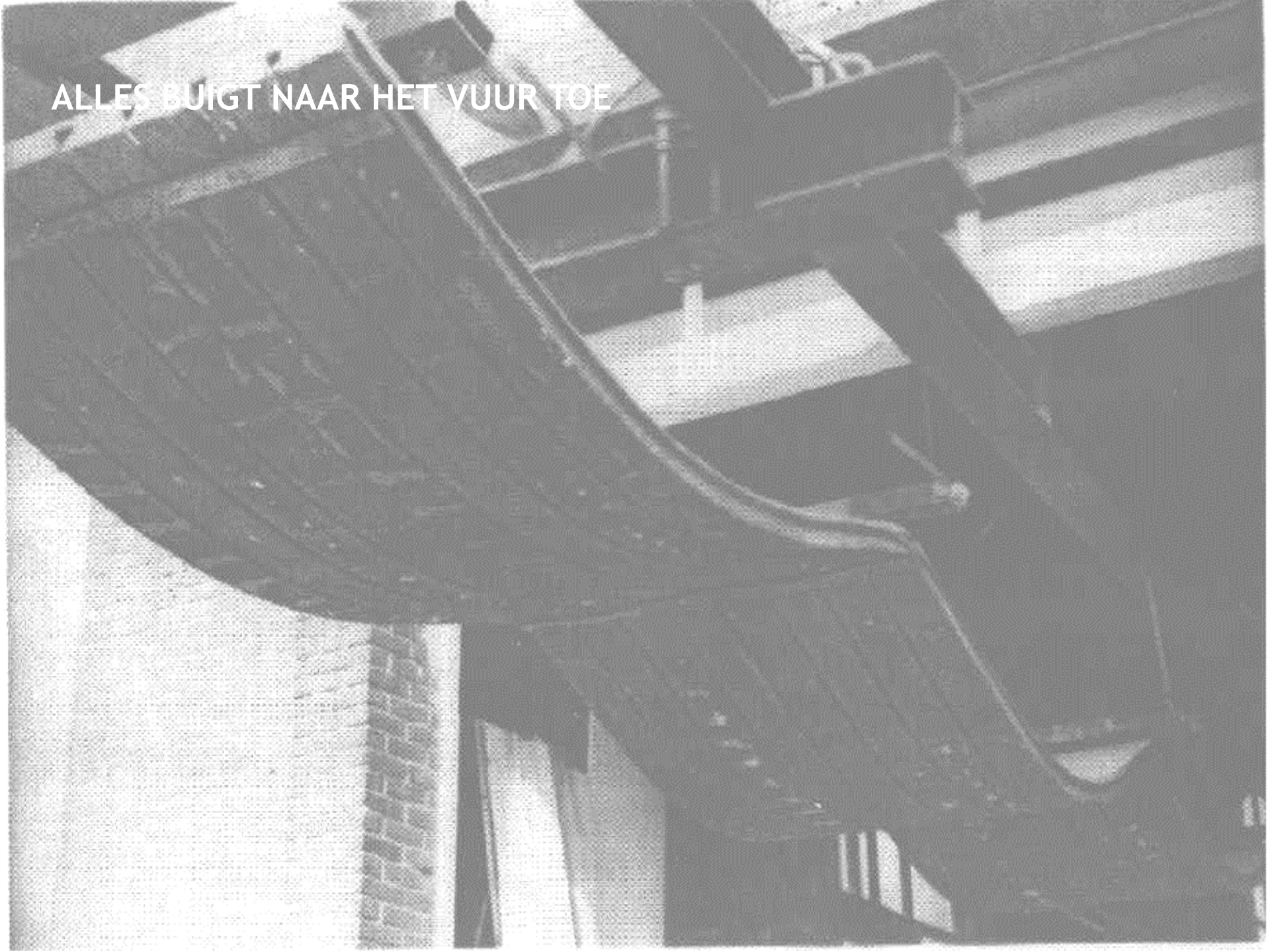
GEVOLGEN VAN THERMISCHE BELASTING

- ❑ Afname van sterkte en stijfheid -> Eurocodes
- ❑ Thermische spanningen
 - Verwaarloosd in eenvoudige rekenregels
 - Zijn te berekenen met geavanceerde modellen
- ❑ Spatten
 - Alleen experimenteel vast te stellen
 - Wordt in praktijk vaak opgelost met aanvullende voorwaarden

THERMISCHE UITZETTING



ALLES BUIGT NAAR HET VUUR TOE



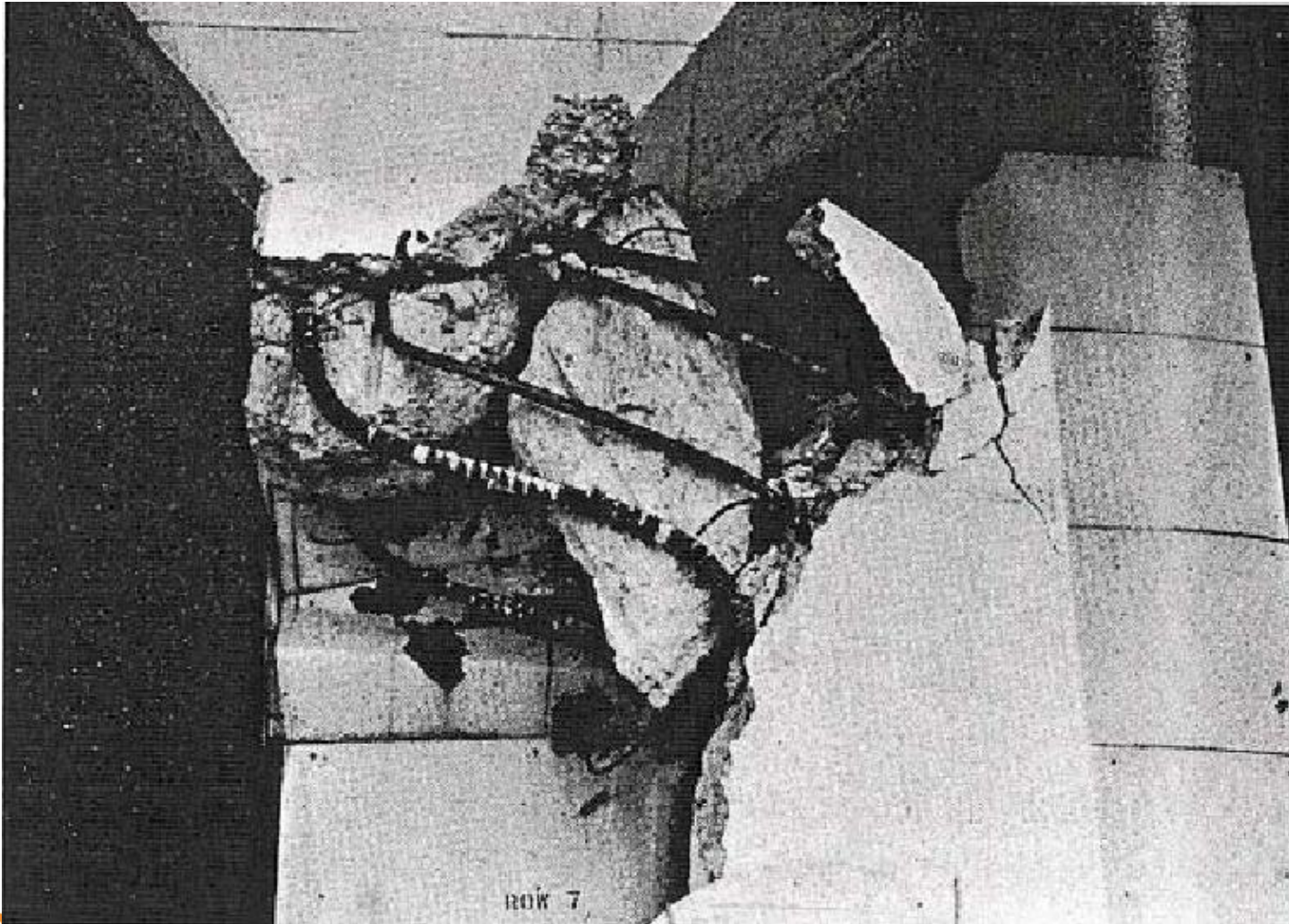
THERMISCHE SPANNINGEN



123 minutes



OOK KOUDE ONDERDELEN KUNNEN BEZWIJKEN



SPATTEN VAN BETON

- ❑ Water zet uit → past niet meer in poriën
 - Enorme druk, leidt tot explosie
- ❑ Warme buitenkant zet meer uit dan koude binnenkant
 - Drukspanning in buitenschil, knikt uit
- ❑ Interactie
 - Waterdruk versterkt uitknikken
 - Gedrukte buitenschil is ongescheurd → verhindert watertransport naar buiten
- ❑ Niet berekenbaar →
 - Opgelost met detailleringsmaatregelen in NEN en EN

Filmpje spatten

SPATGEVOELIG BETON

❑ Beton kan spatgevoelig zijn. Indicatoren hiervoor zijn:

- Vochtige ruimte
- Hoge sterkte beton
- Beton bestand tegen agressief milieu
- Betonconstructie zit ingeklemd in zijn omgeving
- Verwachte zeer snelle brandontwikkeling

REKENEN AAN BETONNEN CONSTRUCTIES

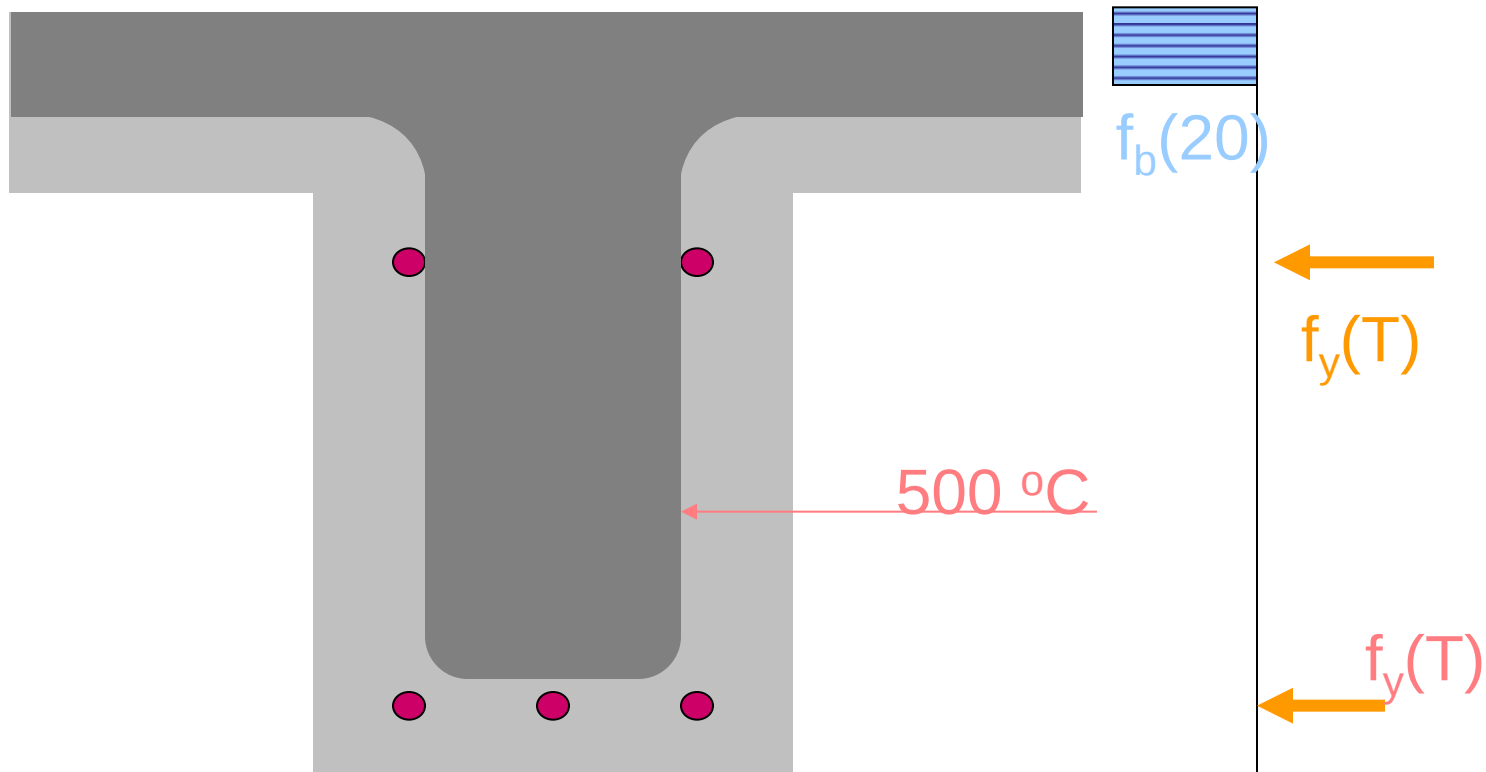
☐ Vereenvoudigde rekenmethode

- Plastisch rekenen
 - reduceer betondoorsnede
 - reduceer wapeningsterkte voor temperatuur
 - bepaal doorsnedecapaciteit op 30, 60, 90, 120 min
- Gereduceerde doorsnede methode
 - 500 °C isotherm
 - behoud betonsterkte
- Zone methode
 - verdeel doorsnede in laagjes
 - gereduceerde doorsnede is gelijk aan verhouding gemiddelde sterkte met sterkte in koudste punt

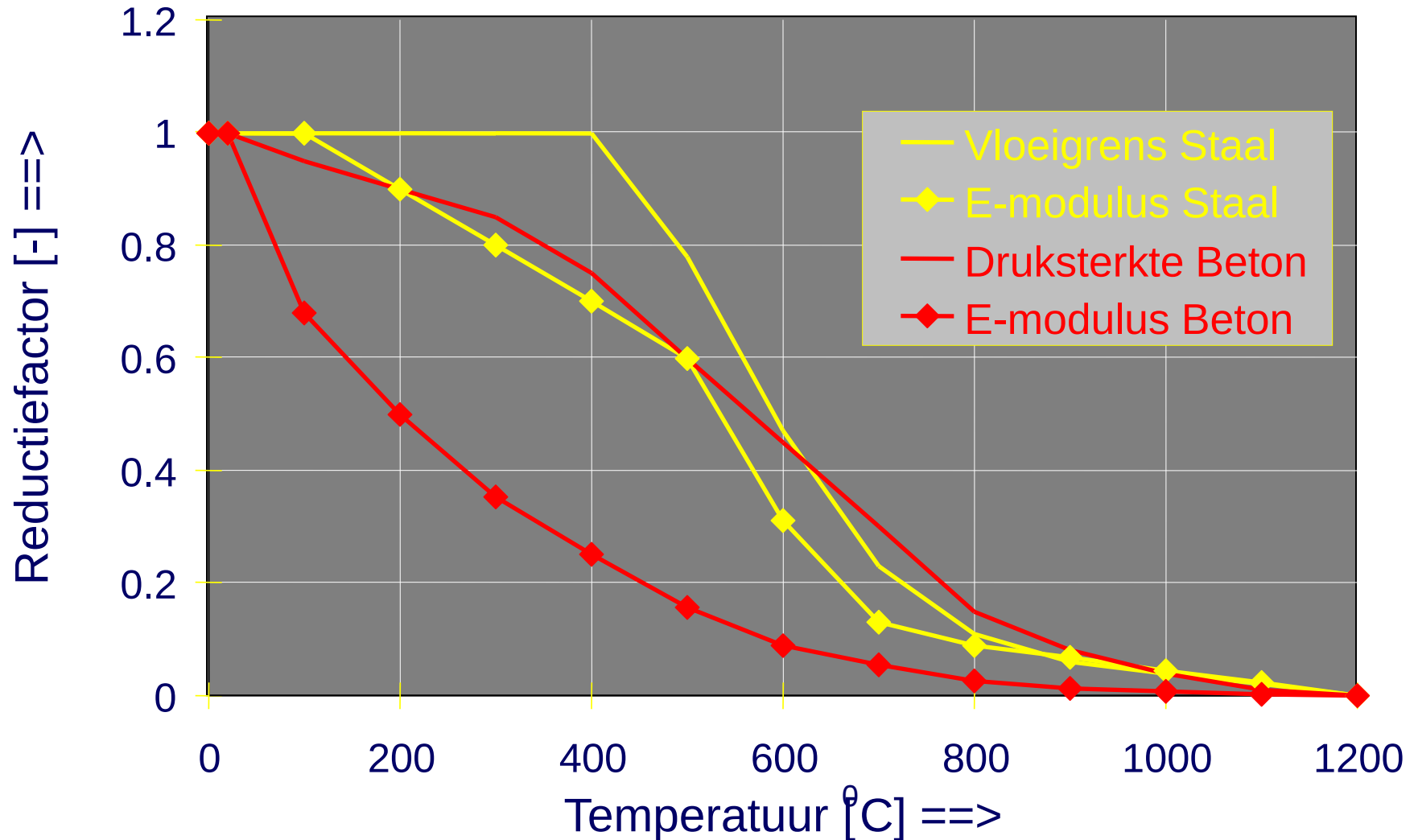
VEREENVOUDIGDE REKENMETHODE

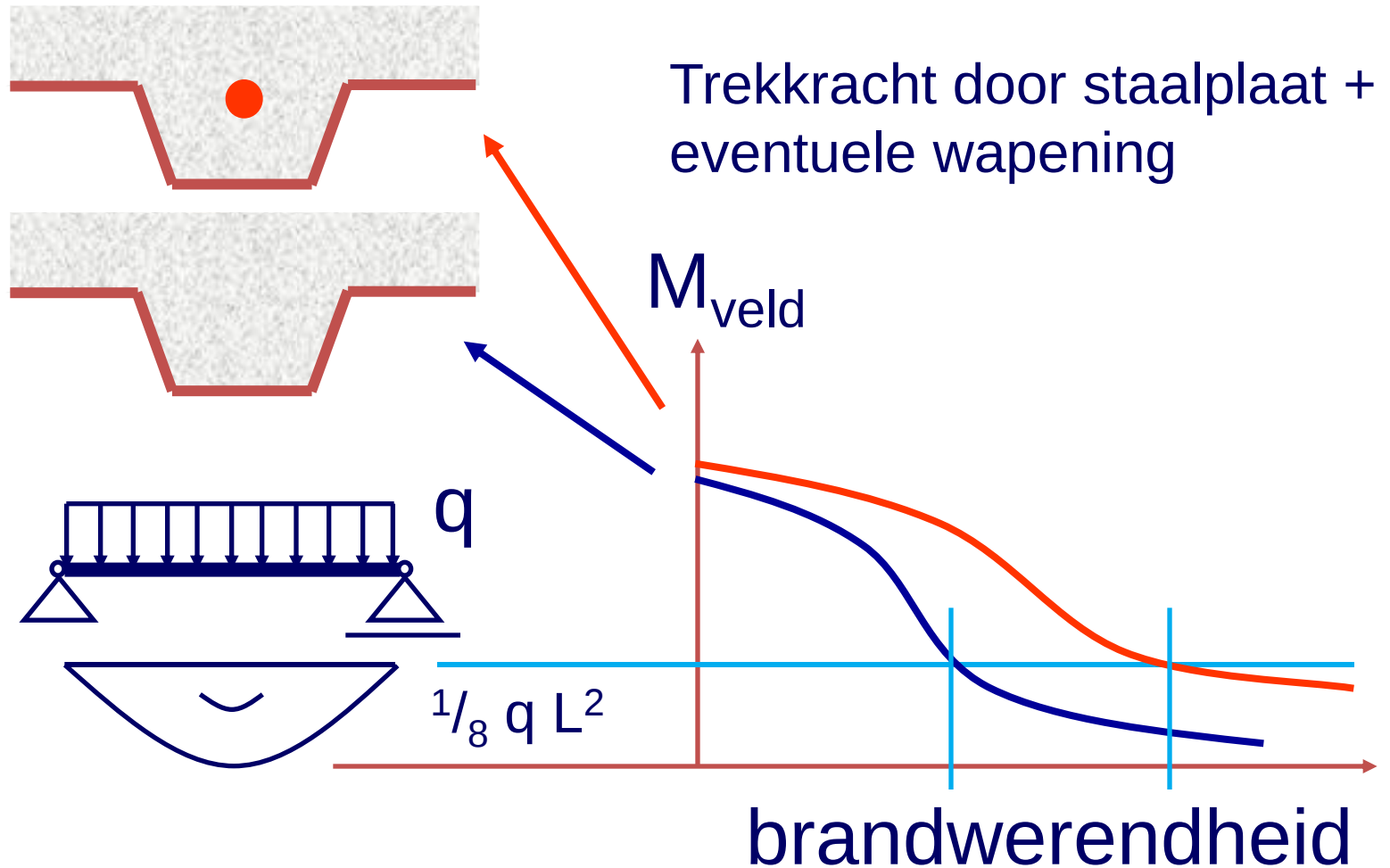
❑ Gereduceerde doorsnede betonconstructie

- 500°C isotherm
- Druk in beton, trek in stalen wapening



AFNAME VAN STERKTE EN STIJFHEID





TABELLEN: BETONNEN VLOEREN

Table 5.9: Minimum dimensions and axis distances for reinforced and prestressed concrete solid flat slabs

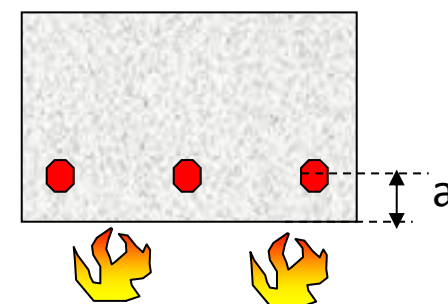
Standard fire resistance	Minimum dimensions (mm)	
	slab-thickness h_s	axis-distance a
1	2	3
REI 30	150	10*
REI 60	180	15*
REI 90	200	25
REI 120	200	35
REI 180	200	45
REI 240	200	50

* Normally the cover required by EN 1992-1-1 will control.

Voorwaarden:

- Standaardbrand
- NWC
- max. waarde μ_0

Legend:



TABELLEN: BETONNEN WANDEN

Standard fire resistance	Minimum dimensions (mm)			
	Wall thickness/axis distance for			
	$\mu_{fi} = 0,35$		$\mu_{fi} = 0,7$	
	wall exposed on one side	wall exposed on two sides	wall exposed on one side	wall exposed on two sides
1	2	3	4	5
REI 30	100/10*	120/10*	120/10*	120/10*
REI 60	110/10*	120/10*	130/10*	140/10*
REI 90	120/20*	140/10*	140/25	170/25
REI 120	150/25	160/25	160/35	220/35
REI 180	180/40	200/45	210/50	270/55
REI 240	230/55	250/55	270/60	350/60
* Normally the cover required by EN 1992-1-1 will control.				
Note: For the definition of μ_{fi} see 5.3.2 (3).				

TOEPASBAARHEID REKENMETHODE

- ❑ JA: Buiging, normaalkracht
- ❑ NEE: Dwarskracht / torsie / verankering
 - Wordt beïnvloed door andere schade oorzaken
 - Thermische uitzetting leidt tot scheuren
 - Spatten van beton



3D: HOUTEN CONSTRUCTIES



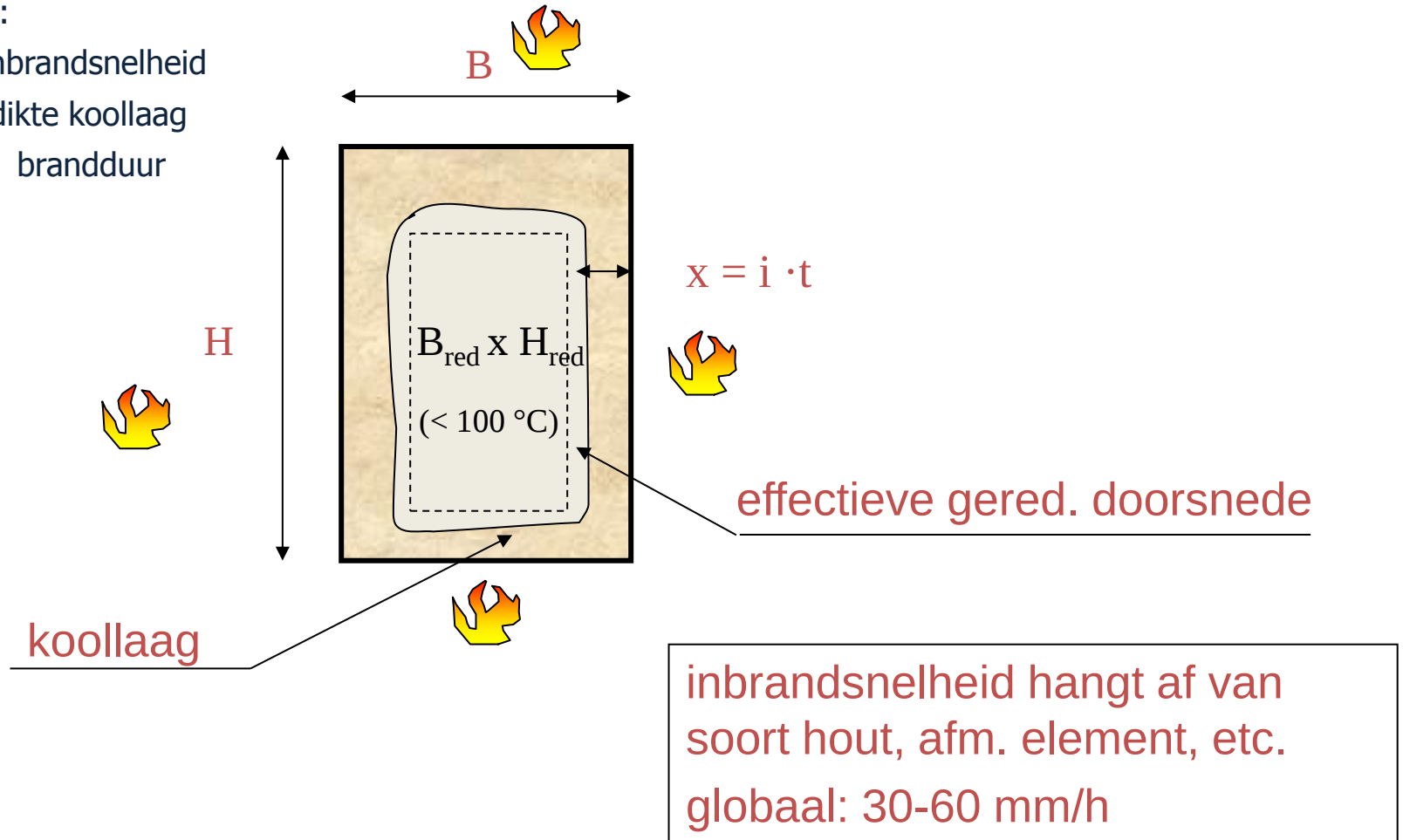
UITGANGSPUNTEN

- ❑ Hout is brandbaar (in tegenstelling tot staal en beton)
 - Wegbranden hout reduceert de doorsnede-afmeting
 - Dit leidt uiteindelijk tot bezwijken...

HOUTCONSTRUCTIES: DRAGENDE FUNCTIE

Legenda:

- i = inbrandsnelheid
- x = dikte koollaag
- t = brandduur



HOUTCONSTRUCTIES: INVLOED VAN DOORSNEDE AFMETINGEN

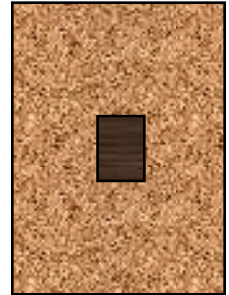
☐ Kleine doorsnede

- Minder resterende doorsnede
- Toename spanningen (door kleiner weerstandsmoment)

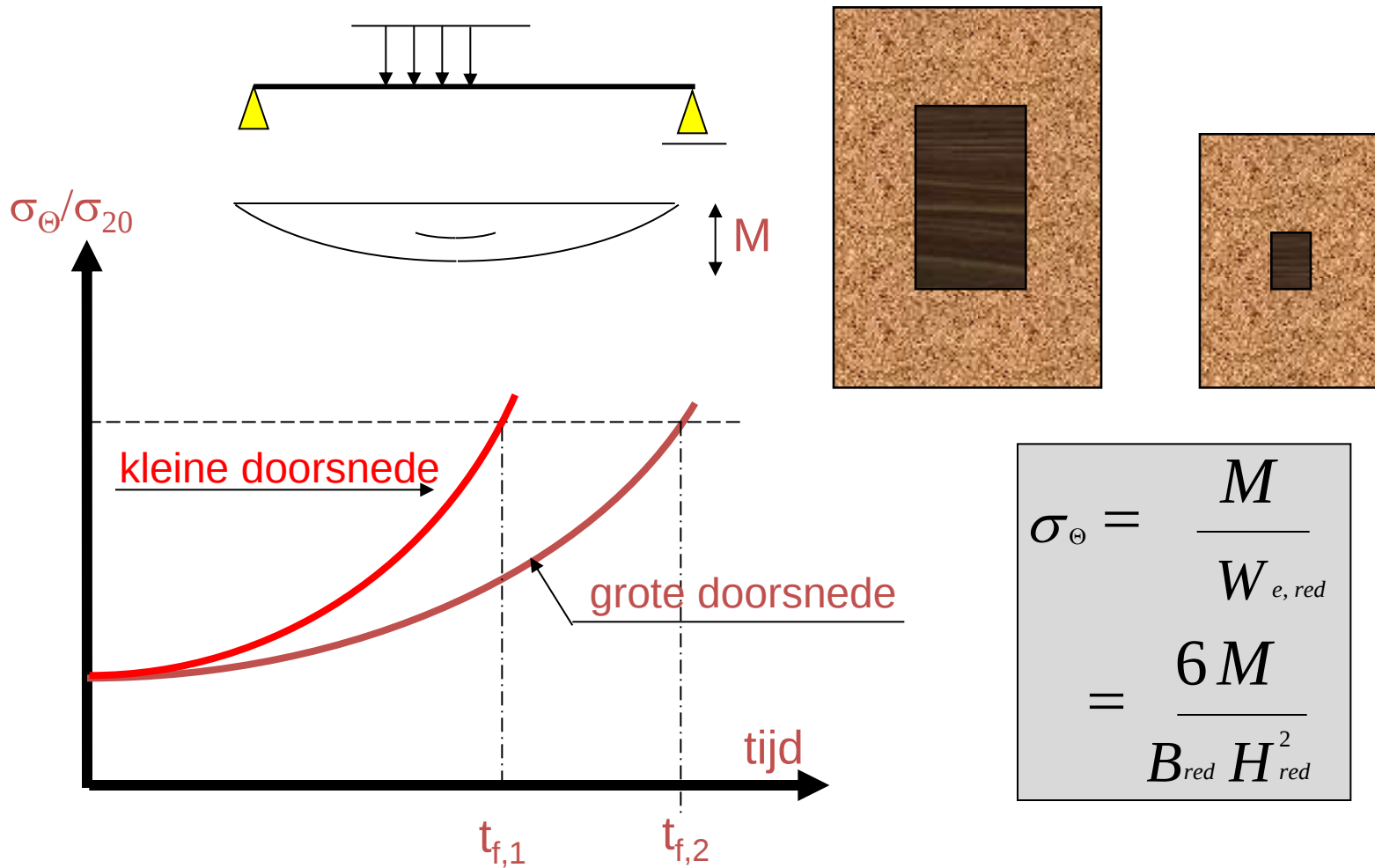
☐ Grote doorsnede

- Meer resterende doorsnede
- Minder toename van spanningen

☐ Conclusie: Bij brandwerendheid van houten balken is de doorsnedeafmeting van belang



HOUTCONSTRUCTIES: ILLUSTRATIE INVLOED DOORSNEDE AFMETING



$$\sigma_{\Theta} = \frac{M}{W_{e, red}}$$

$$= \frac{6M}{B_{red} H_{red}^2}$$

HOUTCONSTRUCTIES: INBRANDSNELHEID

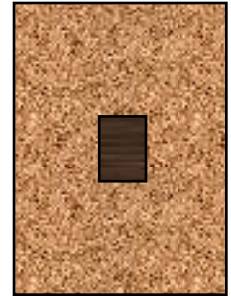
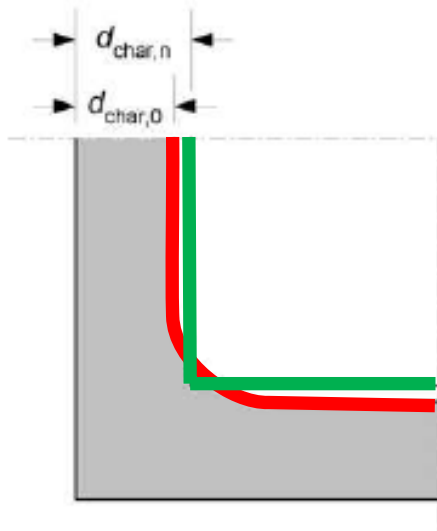
❑ Inbrandsnelheid is afhankelijk van houttype

- Hoe hoger de dichtheid, hoe trager de inbranding

❑ EN 1995-1-2 (Loofhout):

- $290 \text{ kg/m}^3 \rightarrow 0.65 \text{ mm/min}$
- $450 \text{ kg/m}^3 \rightarrow 0.50 \text{ mm/min}$

- Voor dunne balken en kolommen 0.05 mm/min extra in rekening brengen ivm effect van hoeken en scheuren
- Voor dikke balken en kolommen mag je alternatief een afrondingsstraal bij de hoeken in rekening brengen



HOUTCONSTRUCTIES: BESCHERMING

- ☐ Houten balk voorzien van plaatmateriaal



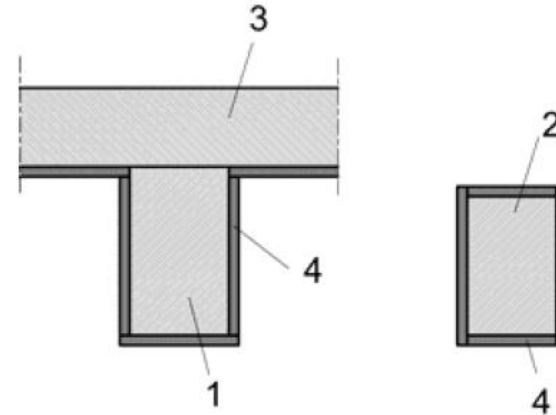
- ☐ Plaatmateriaal onderlangs zetten



HOUTCONSTRUCTIES: ISOLATIE (OPTIE 1)

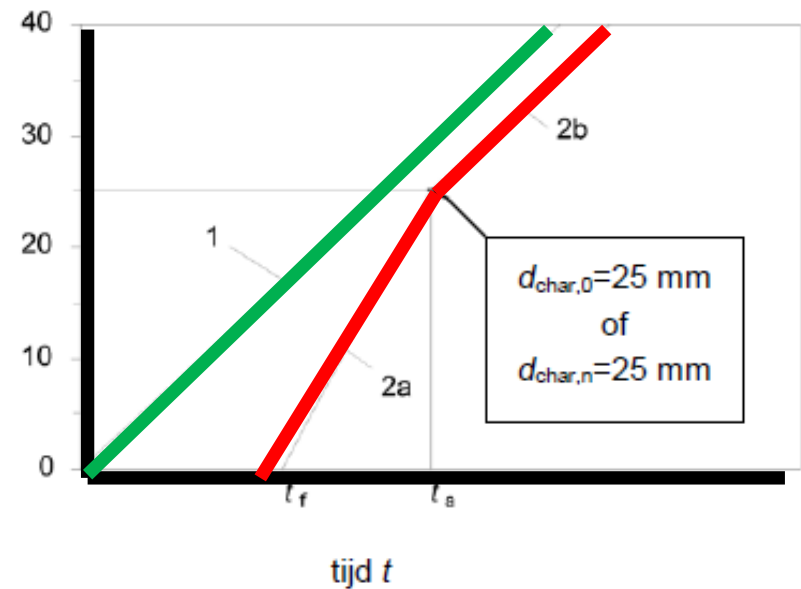
□ Brandwerend geïsoleerde constructies:

- Neem aan dat de isolatieplaat een tijd lang de inbranding tegenhoudt,
- De plaat dan wegvalt,
- Door voorverwarming de inbranding dan wat sneller verloopt,
- Na 25 mm inbranddiepte weer de normale snelheid



 onbeschermd
 beschermd

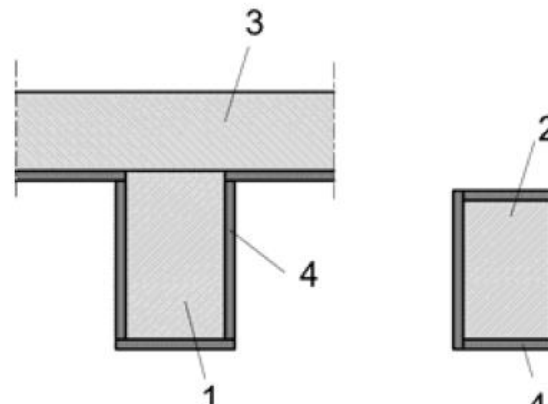
inbranddiepte
 $d_{char,0}$
of
 $d_{char,n}$
(mm)



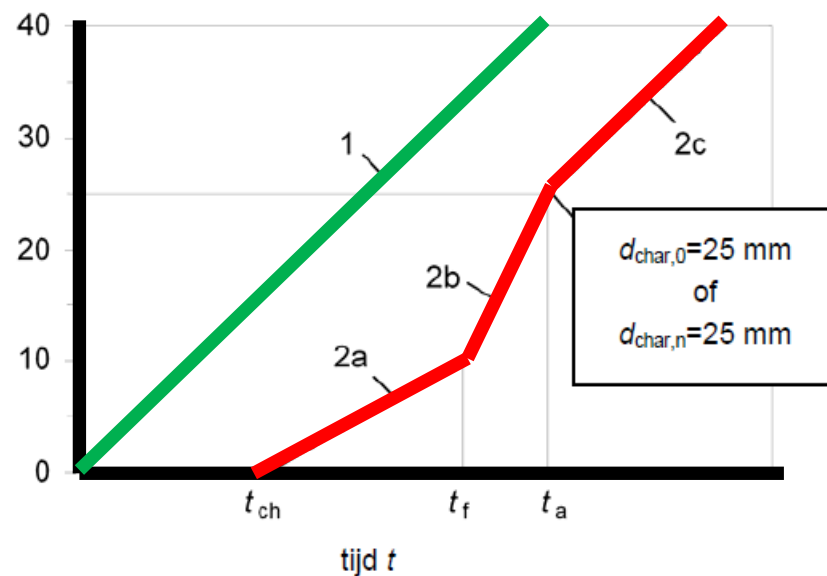
HOUTCONSTRUCTIES: ISOLATIE (OPTIE 2)

□ Brandwerend geïsoleerde constructies:

- Neem aan dat de isolatieplaat een tijd lang de inbranding tegenhoudt en daarna vertraagt,
- De plaat dan wegvalt,
- Door voorverwarming de inbranding dan wat sneller verloopt,
- Na 25 mm inbranddiepte weer de normale snelheid



inbranddiepte
 $d_{char,0}$
of
 $d_{char,n}$
(mm)



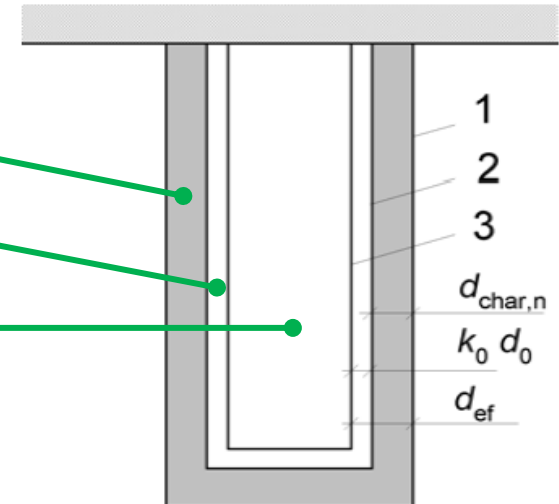
onbeschermd
beschermd

HOUTCONSTRUCTIES: DRAAGKRACHT

- ❑ Doorsnede wordt aan alle blootgestelde zijden verminderd met

- Inbranddiepte (koollaag)
- 7 mm (vanaf 20 mm)
(verwarmde laag zonder sterkte)

- ❑ Resterende doorsnede heeft aanvangssterkte



PRAKTIJKCASE

□ Gegeven:

- Houten balk met doorsnede BxH 200x400 mm²
- Houttype: gezaagd loofhout, 400 kg/m³
- 3-zijdige verhitting
- Belasting: buigend moment 40 kNm
- Rekenwaarde sterkte van het hout 15 N/mm²

□ Vraag:

- Voldoet de balk aan een brandwerendheidseis m.b.t. dragende functie van 60 minuten?

PRAKTIJKCASE

- ❑ Inbrandsnelheid (incl. effect hoeken):
 - $290 \text{ kg/m}^3 \rightarrow 0.70 \text{ mm/min}$
 - $450 \text{ kg/m}^3 \rightarrow 0.55 \text{ mm/min}$
 - Interpolatie: 400 kg/m^3 dus 0.60 mm/min
- ❑ Na 60 minuten is de inbranddiepte
 $60 \cdot 0.60 = 36 \text{ mm}$
- ❑ Plus 7 mm verhitte zone
- ❑ $B_{60} = 200 - 2 \cdot 43 = 114 \text{ mm}$
- ❑ $H_{60} = 400 - 43 = 357 \text{ mm}$



PRAKTIJKCASE

❑ Spanning in doorsnede na wegbranden van 41 mm

- $W = 1/6 * b * h^2 = 114 * 357^2 / 6 = 2.42 * 10^6 \text{ mm}^3$

- $\sigma = M / W = 40 * 10^6 / 2.42 * 10^6 = \mathbf{16.5 \text{ N/mm}^2}$

❑ Sterkte hout = 15 N/mm²

❑ Voldoet dus niet

PRAKTIJKCASE - VERGROTEN AFMETINGEN

- ❑ Zelfde situatie, maar nu:
 - Houten balk, doorsnede BxH 220x400 mm²

- ❑ Inbranddiepte blijft 36 mm (+7 mm verhit)
 - $B_0 = 220 \text{ mm} \rightarrow B_{60} = 134 \text{ mm}$
 - $H_0 = 400 \text{ mm} \rightarrow H_{60} = 357 \text{ mm}$
 - $W = 1/6 * b * h^2 = 134 * 357^2 / 6 = 2.84 * 10^6 \text{ mm}^3$
 - $\sigma = M/W = 40 * 10^6 / 2.84 * 10^6 = 14.1 \text{ N/mm}^2$

- ❑ $14.1 < 15 \rightarrow$ Voldoet

PRAKTIJKCASE - BESCHERMEN CONSTRUCTIE

- ❑ Uitgangssituatie (breedte 200 mm), maar nu:
 - Met gipsplaat die de inbranding 15 minuten uitstelt
- ❑ Inbranddiepte wordt $45 \cdot 0.6 = 27$ mm
- ❑ +7 mm verhit → 34 mm reduceren
 - $B_0 = 200 \text{ mm} \rightarrow B_{60} = 132 \text{ mm}$
 - $H_0 = 400 \text{ mm} \rightarrow H_{60} = 366 \text{ mm}$
 - $W = 1/6 \cdot b \cdot h^2 = 132 \cdot 366^2 / 6 = 2.95 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$
 - $\sigma = M/W = 40 \cdot 10^6 / 2.95 \cdot 10^6 = 13.6 \text{ N/mm}^2$
- ❑ $13.6 < 15 \rightarrow$ Voldoet