

Veilige waarden voor de kritieke staaltemperatuur bij ontwerp en aanbesteding

TOEPASBAAR VOOR KOLOMMEN, LIGGERS EN TREKSTAVEN
MET EEN BRANDWERENDE BESCHERMING



Veilige waarden voor de kritieke staaltemperatuur bij ontwerp en aanbesteding

TOEPASBAAR VOOR KOLOMMEN, LIGGERS EN TREKSTAVEN
MET EEN BRANDWERENDE BESCHERMING

A.F. Hamerlinck

TC3 (Brandveiligheid van staalconstructies)

Colofon

tekst dr.ir. A.F. Hamerlinck / Bouwen met Staal
TC3 (Brandveiligheid van staalconstructies) / Bouwen met Staal

uitgave Bouwen met Staal

foto omslag Ossip van Duivenbode / Heijmans



Bouwen met Staal
Boerhaavelaan 40, 2713 HX Zoetermeer
tel. (079) 35 31 277
www.bouwenmetstaal.nl

© Bouwen met Staal 2015

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand en/of openbaar gemaakt – in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enige andere manier – zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Aan de totstandkoming van deze publicatie is de uiterste zorg besteed. Desondanks zijn eventuele (druk)fouten en onvolkomenheden niet uit te sluiten. De uitgever sluit – mede ten behoeve van al degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt – elke aansprakelijkheid uit voor directe en indirecte schade, ontstaan door of verband houdende met de toepassing van deze publicatie.

Managementsamenvatting

Veilige waarden voor de kritieke staaltemperatuur θ_{cr} van onderdelen van de staalconstructie die in het stadium van de aanbesteding kunnen worden aangehouden. Dit levert een eerlijke basis voor het vergelijken van offertes. De veilige waarden zijn bepaald door technische commissie TC3 (Brandveiligheid van staalconstructies) van Bouwen met Staal.

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	–	–

Voorwoord

De Nederlandse ontwerp- en uitvoeringspraktijk worstelt anno 2015 nog steeds met het belastinggeval brand. Constructeurs plegen dit belastinggeval nogal eens buiten hun opdrachten te houden en 'branden' zich er niet aan. Toeleveranciers hebben onvoldoende constructieve kennis en dekken zich met de 'kleine lettertjes' in bij het tenderen, onderwijl verschillende hoge kritieke staaltemperaturen aanhoudend met als gevolg relatief gunstige, concurrerendere laagdikten voor de brandwerende bekleding of brandwerende coating. Het gevolg is een niet optimale en soms zelfs onvoldoende veilige constructie.

Dit rapport geeft veilige ontwerpwaarden die in het stadium van de aanbesteding kunnen worden aangehouden. Dergelijke ontwerpwaarden zorgen voor een eerlijke basis van vergelijking tussen offertes. Leveranciers die echter de moeite nemen de kritieke staaltemperaturen uit te (laten) rekenen of opdrachtgevers die hun constructeur daar gericht opdracht toe geven en de resultaten in het bestek opnemen, kunnen nog steeds een aanzienlijke besparing in brandwerende bescherming realiseren en een gegarandeerd veilige oplossing bereiken binnen het geldende eisenkader. Zonder al te veel constructieve kennis kan een staalconstructie worden ontworpen die niet alleen voldoende brandwerend is maar tevens ook relatief efficiënt. Op basis van de gespecificeerde kritieke staaltemperatuur kan elke aanbieder op een gelijkwaardig niveau een prijsaanbieding maken.

Dit rapport geeft de Nederlandse ontwerppraktijk bovendien handvatten welke parameters een rol spelen en hoe door profielkeuze en constructief ontwerp – mogelijk wellicht met een iets zwaardere staalconstructie – een forse besparing op de brandwerende voorzieningen kan worden behaald (hogere kritieke staaltemperatuur; minder bekledingskosten), met daarmee integraal een betere oplossing. Voor de uiteindelijke uitvoering wordt geadviseerd met de projectgebonden uitgangspunten de werkelijk bij het project behorende kritieke temperaturen uit te rekenen.

Technische commissie TC3 (Brandveiligheid van staalconstructies) van Bouwen met Staal heeft als algemene doelstelling bij te dragen aan het vermeerderen en verspreiden van kennis op het gebied van brandveiligheid in relatie tot staal. Dit rapport is het resultaat van de inspanning van leden van TC3 en een goed voorbeeld van de realisatie van bovengenoemde doelstelling. Dit rapport zal voor veel ontwerp bureaus en leveranciers een welkome aanvullende ontwerptool zijn.

ing. R.J. Stark

voorzitter TC 3 (Brandveiligheid van staalconstructies) van Bouwen met Staal

Inhoud

1	Inleiding	6
2	Bepaling van veilige waarden voor de kritieke staaltemperatuur	6
3	Veilige waarden voor de kritieke staaltemperatuur	7
4	Literatuur	9
	Bijlagen	
A	Grafieken met veilige kritieke staaltemperaturen van kolommen voor verschillende gebruiksfuncties	10
B	Grafieken met veilige kritieke staaltemperaturen van kolommen voor de kantoorfunctie met variatie van parameters	15
C	Tabellen bij de grafieken van bijlage A en B	23

Dit rapport omvat in totaal 26 pagina's

1 Inleiding

Dit rapport geeft veilige ontwerpwaarden van de kritieke staaltemperatuur θ_{cr} volgens de Eurocodes. Deze kunnen in het tenderstadium aangehouden worden en zorgen voor een eerlijke basis van vergelijking tussen offertes. Leveranciers die de moeite nemen de kritieke staaltemperaturen uit te (laten) rekenen of opdrachtgevers die hun constructeur daar gericht opdracht toe geven en de resultaten in het bestek opnemen, kunnen nog steeds een aanzienlijke besparing realiseren binnen het geldende eisenkader. Zonder al teveel constructieve kennis kan een veilige, voldoende brandwerende staalconstructie ontworpen worden, maar tegelijk ook een relatief efficiënte.

2 Bepaling van de veilige waarden voor de kritieke staaltemperatuur

Voor de bepaling van de brandwerendheid verwijst Bouwbesluit 2012 in artikel 2.11 en 2.10 naar de Eurocodes NEN-EN 1990 (belastingen), NEN-EN 1991-1-1 (opgelegde belastingen), NEN-EN 1991-1-2 (belastingen bij brand), en NEN-EN 1993-1-2 (staalconstructies bij brand). De Eurocodes zijn per 1 april 2012 wettelijk van kracht.

In dit rapport wordt voor de bepaling van veilige waarden van de kritieke staaltemperatuur θ_{cr} gebruik gemaakt van de Eurocodes:

- NEN-EN 1990 + NB en NEN-EN 1991-1-1 + NB voor de combinatieregels van de mechanische belastingen, de opgelegde belastingen en de combinatiefactoren (Ψ -waarden);
- NEN-EN 1991-1-2 + NB voor de thermische belasting;
- NEN-EN 1993-1-2 + NB voor de mechanische respons van een staalconstructie.

Van liggers en trekstaven is de belastinggraad η_{fi} – de verhouding tussen de belastingen bij brand en de rekenwaarden van de belastingen bij 20 °C – ontleend aan formule (2.3) uit de publicatie *Brand*^[5] van Bouwen met Staal. De belastinggraad η_{fi} van kolommen is ontleend aan formule (2.4) uit de publicatie *Brand* (2^e erratum, waarin deze formule is gecorrigeerd voor het voorschrift uit de Eurocode dat bij 20 °C twee vloeren extreem en de rest momentaan moet worden belast met combinatiefactoren Ψ_0).

Er wordt dus vanuit gegaan dat profielen 100% worden uitgenut bij 20 °C en op sterkte ontworpen zijn (unity check = 1,00): dat is zonder kennis van de daadwerkelijke reserves het enige juiste uitgangspunt. In de praktijk is doorgaans de nodige reserve aanwezig, hetgeen benut kan worden en tot (aanzienlijk) hogere kritieke staaltemperaturen kan leiden. Zie hiervoor de bijlagen A t/m C. Bij deze 100% uitnutting is de benuttingsgraad μ_o – de verhouding tussen de belastingen bij brand en de weerstand van de staalconstructie bij 20 °C, die bepalend is voor de kritieke staaltemperatuur – gelijk aan de belastinggraad η_{fi} .

Voor de kolommen is een kniklengte bij brand aangehouden die 70% bedraagt van de systeemplengte (van 3,6 m, zoals in dit rapport als uitgangspunt is genomen voor standaard

verdiepinggebouwen). Doorgaans is deze reductie toepasbaar (of soms zelfs tot 50%) onder de voorwaarden zoals aangegeven in art. 4.2.3.2 en figuur 4.1 van NEN-EN 1993-1-2 (zie ook paragraaf 2.5 van de publicatie *Brand*). De effecten van verdere reductie van de kniklengte tot 50% of het niet toepassen van reductie van de kniklengte (100%) zijn te analyseren aan de hand van bijlagen A t/m C.

Voor de vloeren en voor de zware daken is (conservatief) uitgegaan van een hoge permanente belasting (600 kg/m^2) en voor de lichte daken van een lage permanente belasting (50 kg/m^2). Het effect van lichte vloeren (300 kg/m^2) is voor de kolommen bijvoorbeeld te zien door grafiek A2 (kantoren / zwaar) te vergelijken met grafiek B1 (kantoren / licht).

Voor de kolommen is een gebouw van 6 verdiepingen het uitgangspunt. De effecten van minder (3) of meer (12) verdiepingen is te zien door grafiek A2 te vergelijken met grafiek B3 en B4 (kantoren). Verder is uitgegaan van een kolom HEA 240 van staalsoort S355, zie grafiek A2. De staalsoort is gevarieerd in grafiek B2 (S 235), andere HEA-profielen in grafiek B5 (180 A) en B6 (300 A), andere 240-profielen in grafiek B7 (240 B) en B8 (240 M), koker en buisprofielen in grafiek B9 (150x150x6), grafiek B10 (250x250x8), grafiek B11 (350x350x10) en grafiek B12 ($\emptyset 219,6 \times 6$).

3 Veilige waarden voor de kritieke staaltemperatuur

De resultaten van de veilige waarden van de kritieke staaltemperatuur θ_{cr} zijn op de volgende pagina in tabelvorm samengevat, gesplitst naar:

- gebruiksfunctie (wonen, kantoor, bijeenkomst, winkel, opslag, parkeren (lichte en zware voertuigen));
- type constructiedeel: vloerligger, dakligger, trekstaaf, kolom;
- bij de liggers wordt onderscheid gemaakt tussen statisch bepaald/onbepaald en drie- of vierzijdig verhit. Hiermee worden de correctiefactoren κ_1 en κ_2 bepaald, waarmee de belastinggraad η_{fi} wordt vermenigvuldigd om (bij 100% uitnutting) de uitnuttingsgraad μ_o te verkrijgen ($\kappa_1 = 0,85$ voor driezijdige verhitte, brandwerende beklede vloer- en dakliggers (onder een betonnen vloer of dak); $\kappa_1 = 1,0$ voor vierzijdige verhitte vloer- en dakliggers (bijv. onder een geprofileerde stalen dakplaat); $\kappa_2 = 0,85$ voor doorgaande liggers en in andere gevallen 1,0). $\kappa_1 = \kappa_2 = 1,0$ voor de trekstaaf. De liggers zijn bepaald voor belasting op buiging (zonder kip) volgens art. 4.2.3.3 en 4.2.3.4 van NEN-EN 1993-1-2 (doorsnedeklassen 1, 2 en 3).

Bij de kolom wordt de berekening uitgevoerd met de knikkrommen bij brand (art. 4.2.3.2 van NEN-EN 1993-1-2, met behulp van de door BmS ontwikkelde spreadsheet:

http://www.brandveiligmetstaal.nl/pag/164/4a1_download_xls_bepaling_kritieke_staaltemperatuur_kolommen.html

Vereenvoudigde bepaling van de kritieke staaltemperatuur voor brandwerend te bekleden vloerliggers en kolommen in gebouwen volgens Eurocode

Klasse	Gebruik	qk [kN/m ²]	ψ ₀	ψ ₂	ηfi	μo	minimale kritieke staaltemperatuur θcr voor een statisch bepaalde vloerligger	minimale kritieke staaltemperatuur θcr voor een statisch onbepaalde vloerligger	minimale kritieke staaltemperatuur θcr voor een vierzijdig verhitte staaltralie	minimale kritieke staaltemperatuur θcr voor een vierzijdig verhitte staaltralie	minimale kritieke staaltemperatuur θcr voor een trekstaaf	belastinggraad kolom ηfi obv (2.4) uit BmS-Brandboek	minimale kritieke staaltemperatuur θcr voor een kolom excl. knik	kolom in S355; 90% belast bij 20 °C; ℓ = 3,6 m; 70% kniklengte-reductie met belastinggraad cf. kolom 14	kolom in S355; 100% belast bij 20 °C; ℓ = 3,6 m; 70% kniklengte-reductie met belastinggraad cf. kolom 14
A-G	Vloeren														
A	Wonen	1,75	0,4	0,3	0,664	0,565	591,3	536,0	564,7	536,0	536,0	0,744	513,2	545	524
B	Kantoor	2,50	0,5	0,3	0,616	0,524	603,1	549,5	577,1	549,5	549,5	0,696	527,0	552	531
C	Bijeenkomst	5,00	0,6	0,6	0,612	0,520	604,1	550,7	578,2	550,7	550,7	0,709	523,3	548	527
D	Winkel	4,00	0,4	0,6	0,636	0,541	598,0	543,8	571,8	543,8	543,8	0,778	503,0	530	506
E	Opslag	5,00	1,0	0,8	0,680	0,578	587,4	531,4	560,6	531,4	531,4	0,680	531,4	556	535
F	Parkeren (voertuigen tot 25 kN)	2,00	0,7	0,6	0,706	0,600	581,5	524,1	554,3	524,1	524,1	0,750	511,3	537	515
G	Parkeren (voertuigen van 25 tot 120 kN)	5,00	0,7	0,3	0,510	0,434	632,4	581,4	607,2	581,4	581,4	0,568	563,6	586	569
H	Daken	1,00	0,0	0,0	0,238	0,202	747,7	698,7	723,2	698,7	698,7				

Aannamen	
zware vloer: Gk =	6,00 kN/m ²
dak: Gk =	0,50 kN/m ²
belastingfactor γG	1,2
belastingfactor γQ	1,5
driezijdig verhitte vloerligger: κ1	0,85
statisch bepaalde vloerligger: κ2	1,00
vierzijdig verhitte dakligger: κ1	1,00
aantal verdiepingen n:	6

vierzijdig verhitte vloerligger: κ1	1,00
trekstaaf: κ1	1,00
statisch onbepaalde vloerligger: κ2	0,85

vetgedrukte en vet omkaderde waarden zijn voor de managementsamenvatting / uitgangspunt voor aanbestedingen

NB bekleed; voor onbekleed geldt 0,7

belastinggraad ligger ηfi obv (2.3) uit BmS-Brandboek

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \Psi_2 \cdot q_k}{\gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot q_k}$$

belastinggraad kolom ηfi obv (2.4) uit BmS-Brandboek

$$\eta_{fi} = \frac{n \cdot G_k + n \cdot \Psi_2 \cdot q_k}{n \cdot \gamma_G \cdot G_k + 2 \cdot \gamma_Q \cdot q_k + (n-2) \cdot \gamma_Q \cdot \Psi_0 \cdot q_k}$$

n = aantal verdiepingen

4 Literatuur

1. NEN-EN 1990 (Eurocode. Grondslagen van het constructief ontwerp) + A1 + C2 + Nationale Bijlage, NEN, 2011.
2. NEN-EN 1991-1-1 (Eurocode 1. Belastingen op constructies. Deel 1-2. Algemene belastingen. Volumieke gewichten, eigengewicht en opgelegde belastingen voor gebouwen) + C1 + Nationale Bijlage, NEN, 2011.
3. NEN-EN 1991-1-2 (Eurocode 1. Belastingen op constructies. Deel 1-2. Algemene belastingen. Belastingen bij brand) + C1 + Nationale Bijlage, NEN, 2011.
4. NEN-EN 1993-1-2 (Eurocode 3. Ontwerp en berekening van staalconstructies. Deel 1-2. Algemene regels. Ontwerp en berekening van constructies bij brand), + C2 + Nationale Bijlage, NEN, 2015.
5. A.F. Hamerlinck, *Brand. Brandveiligheid en berekening van de brandwerendheid van staalconstructies voor gebouwen volgens Eurocode 3*, Bouwen met Staal, Zoetermeer 2010.

A Grafieken met veilige kritieke staaltemperaturen van kolommen voor verschillende gebruiksfuncties

De grafieken geven veilige ontwerpwaarden voor de kritieke staaltemperatuur θ_{cr} van kolommen in verdiepinggebouwen.

Er zijn conservatieve uitgangspunten aangehouden, waardoor de gegeven waarden als ondergrens voor de werkelijke kritieke staaltemperatuur beschouwd kunnen worden. Bij juiste interpretatie van de in dit rapport gepresenteerde waarden, moeten de waarden bij een genuanceerde berekening met projectspecifieke gegevens hoger liggen. Het is aan te bevelen in latere fasen van een project deze projectspecifieke berekeningen van de kritieke staaltemperatuur uit te (laten) voeren met het oog op een juiste balans tussen veiligheid en kostenoptimalisatie.

Uitgangspunten bij de grafieken:

- berekening volgens de Eurocodes (NEN-EN 1990 + NB, NEN-EN 1991-1-1 + NB, NEN-EN 1991-1-2 + NB en NEN-EN 1993-1-2 + NB);
- zware vloeren (permanente vloerbelasting $G_k = 6,0 \text{ kN/m}^2$);
- opgelegde belastingen volgens tabel 6.2 t/m 6.10 van NEN-EN 1991-1-1 + NB: $1,75 \text{ kN/m}^2$ voor klasse A Woonfunctie; $2,5 \text{ kN/m}^2$ voor klasse B Kantoorfunctie; $5,0 \text{ kN/m}^2$ voor klasse C Bijeenkomstfunctie; $4,0 \text{ kN/m}^2$ voor klasse D Winkelfunctie; $5,0 \text{ kN/m}^2$ voor klasse E Opslag; $2,0 \text{ kN/m}^2$ voor klasse F Parkeren (voertuigen tot 25 kN);
- combinatiefactoren Ψ_0 volgens tabel A1.1 van NEN-EN 1991-1-1 + NB: 0,4 voor klasse A Woonfunctie; 0,5 voor klasse B Kantoorfunctie; 0,6 voor klasse C Bijeenkomstfunctie; 0,4 voor klasse D Winkelfunctie; 1,0 voor klasse E Opslag; 0,7 voor klasse F Parkeren (voertuigen tot 25 kN);
- combinatiefactoren Ψ_2 volgens tabel A1.1 van NEN-EN 1991-1-1 + NB: 0,3 voor klasse A Woonfunctie; 0,3 voor klasse B Kantoorfunctie; 0,6 voor klasse C Bijeenkomstfunctie; 0,6 voor klasse D Winkelfunctie; 0,8 voor klasse E Opslag; 0,6 voor klasse F Parkeren (voertuigen tot 25 kN);
- belastingfactoren bij 20 °C $\gamma_G = 1,2$ en $\gamma_Q = 1,5$ (bij brand zijn beide 1,0);
- de belastinggraad η_{fi} is bepaald voor de beganegrondkolom van een gebouw met 6 (gelijke) bouwlagen met behulp van formule (2.4) uit het BmS-Brandboek (incl. 2^e erratum):

$$\eta_{fi} = \frac{nG_k + n\Psi_2 Q_k}{n1,2G_k + 1,5Q_k + (n - 1)1,5\Psi_0 Q_k}$$

n = aantal verdiepingen

In de grafieken wordt θ_{cr} bepaald als functie van de uitnutting bij 20 °C (de 'unity check'), variërend van 10 tot 100%, voor 3 opties voor de kniklengte bij brand: 1,0, 0,7 en 0,5 maal de systeemplengte (waarvoor 3,6 m is aangehouden).

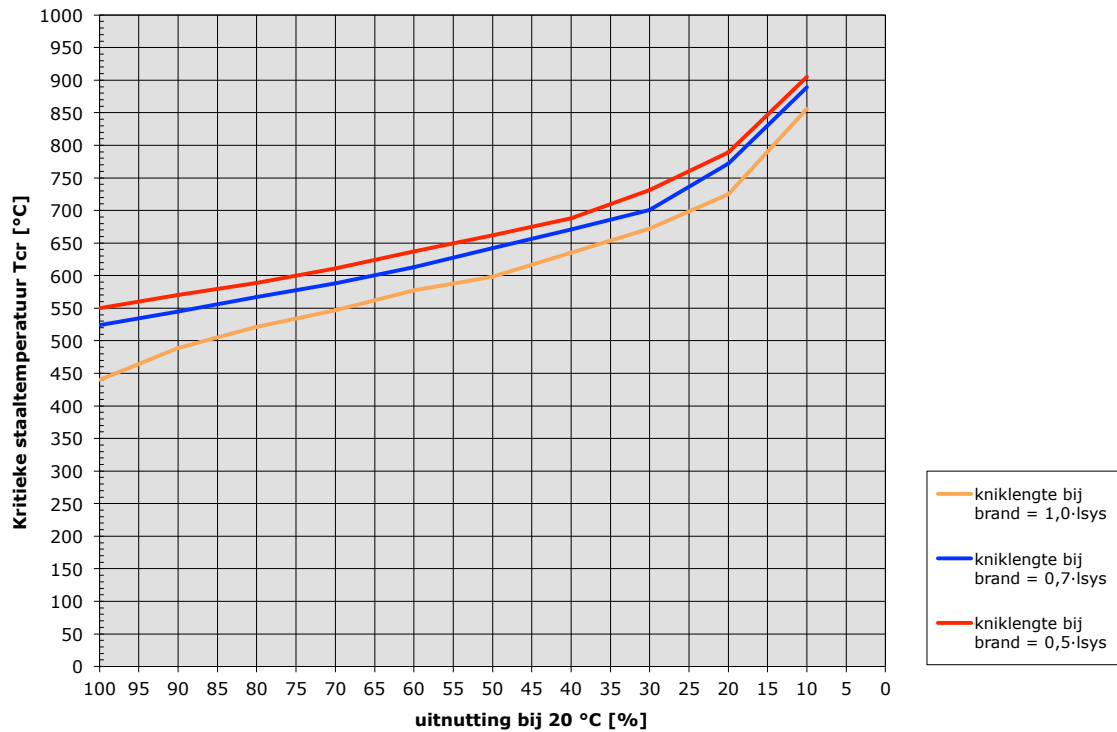
Berekening van θ_{cr} volgens NEN-EN 1993-1-2 + NB, art. 4.2.3.2 (zuivere druk) mbv de spreadsheet van BmS (zie <http://www.brandveiligmetstaal.nl/pag/164/pagina.html>).

De volgende grafieken met veilige kritieke staaltemperaturen zijn opgenomen, zie bijlage C voor de tabellen:

- A1 Kolommen voor een woonfunctie;
- A2 Kolommen voor een kantoorfunctie;
- A3 Kolommen voor een bijeenkomstfunctie;
- A4 Kolommen voor een winkelfunctie;
- A5 Kolommen voor een opslagfunctie;
- A6 Kolommen voor een parkeerfunctie.

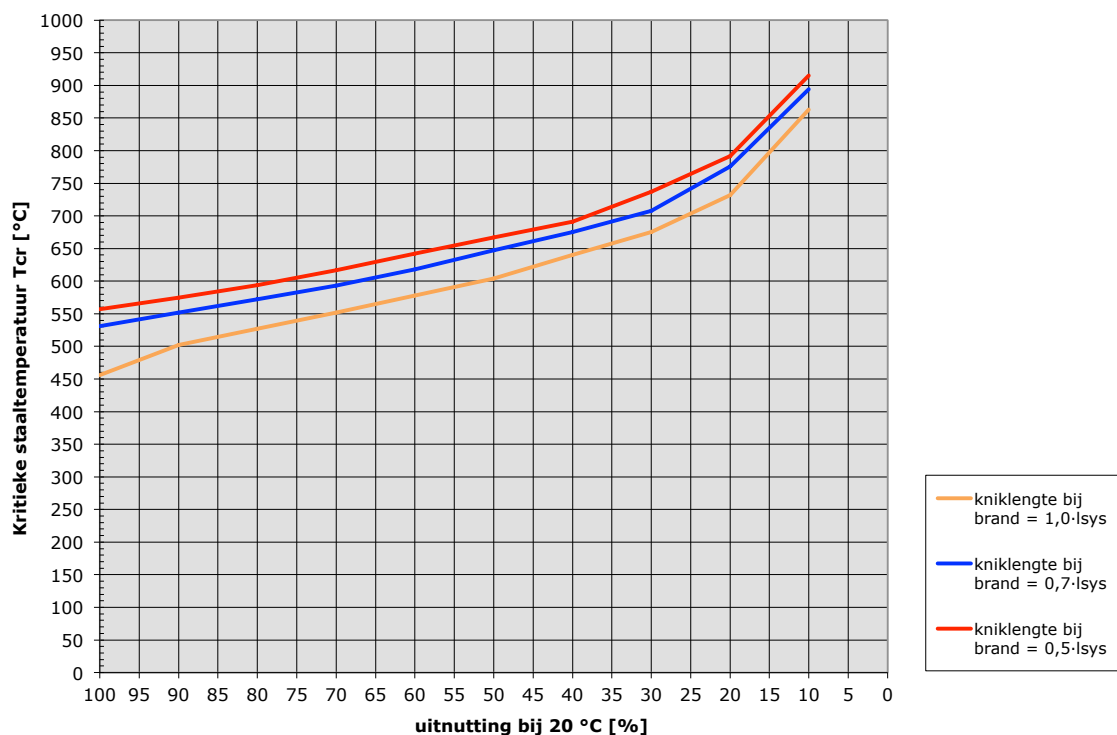
A1 Veilige kritieke staaltemperatuur θ_{cr} van kolommen: woonfunctie

kolom HEA 240 (S355) met $l_{sys} = 3,6$ m; zware vloer (600 kg/m^2)



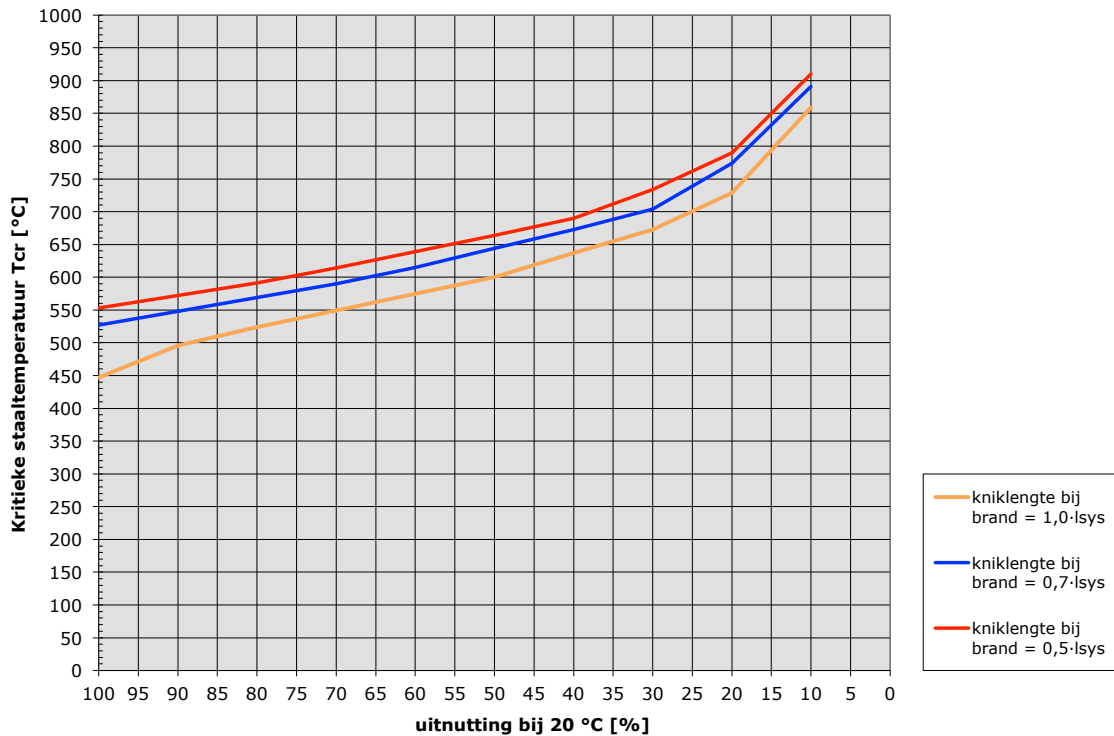
A2 Veilige kritieke staaltemperatuur θ_{cr} van kolommen: kantoorfunctie

kolom HEA 240 (S355) met $l_{sys} = 3,6$ m; zware vloer (600 kg/m^2)



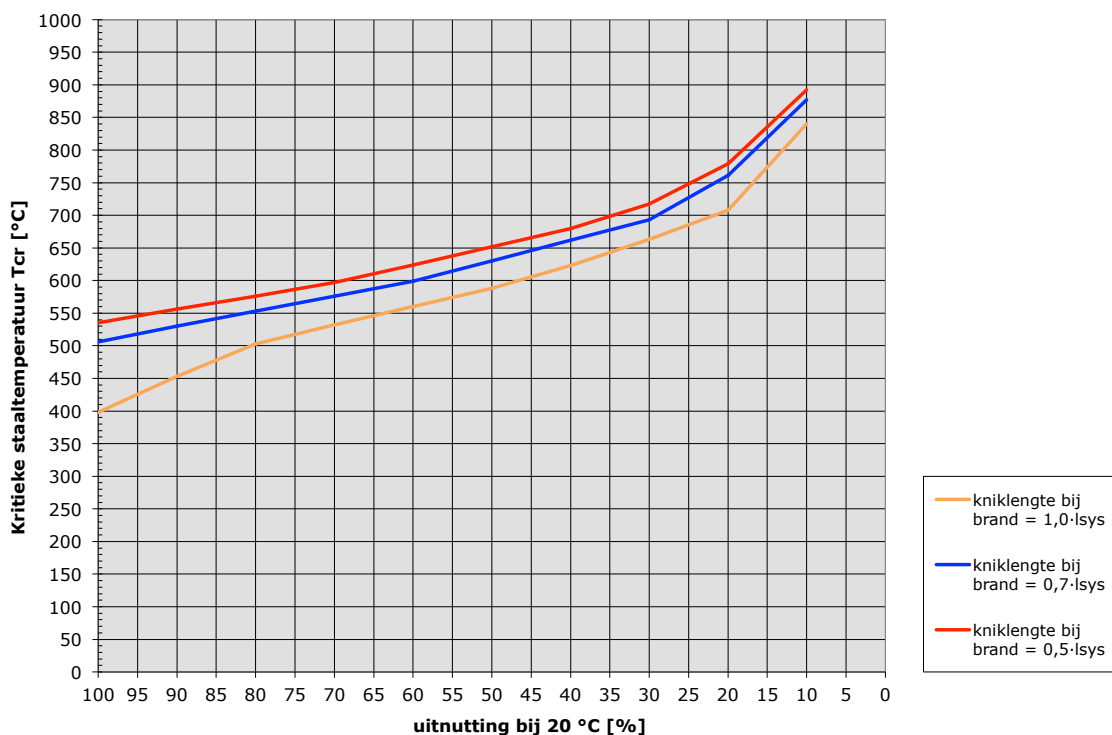
A3 Veilige kritieke staaltemperatuur θ_{cr} van kolommen: bijeenkomstfunctie

kolom HEA 240 (S355) met $l_{sys} = 3,6$ m; zware vloer (600 kg/m^2)



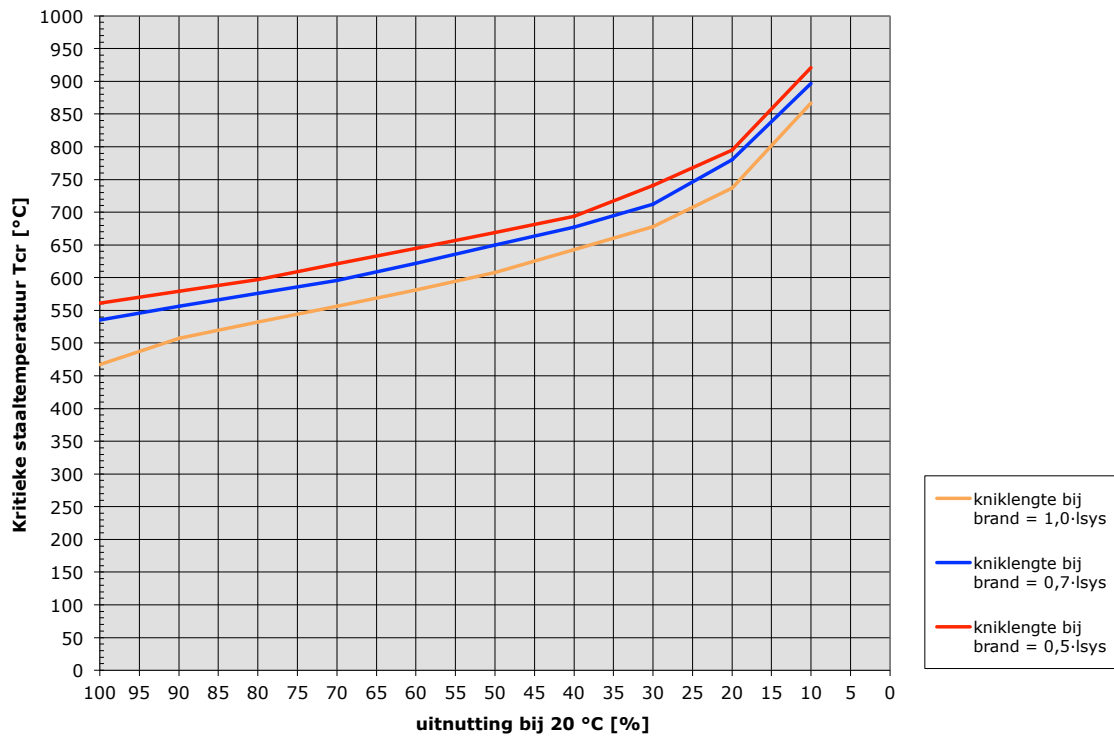
A4 Veilige kritieke staaltemperatuur θ_{cr} van kolommen: winkelfunctie

kolom HEA 240 (S355) met $l_{sys} = 3,6$ m; zware vloer (600 kg/m^2)



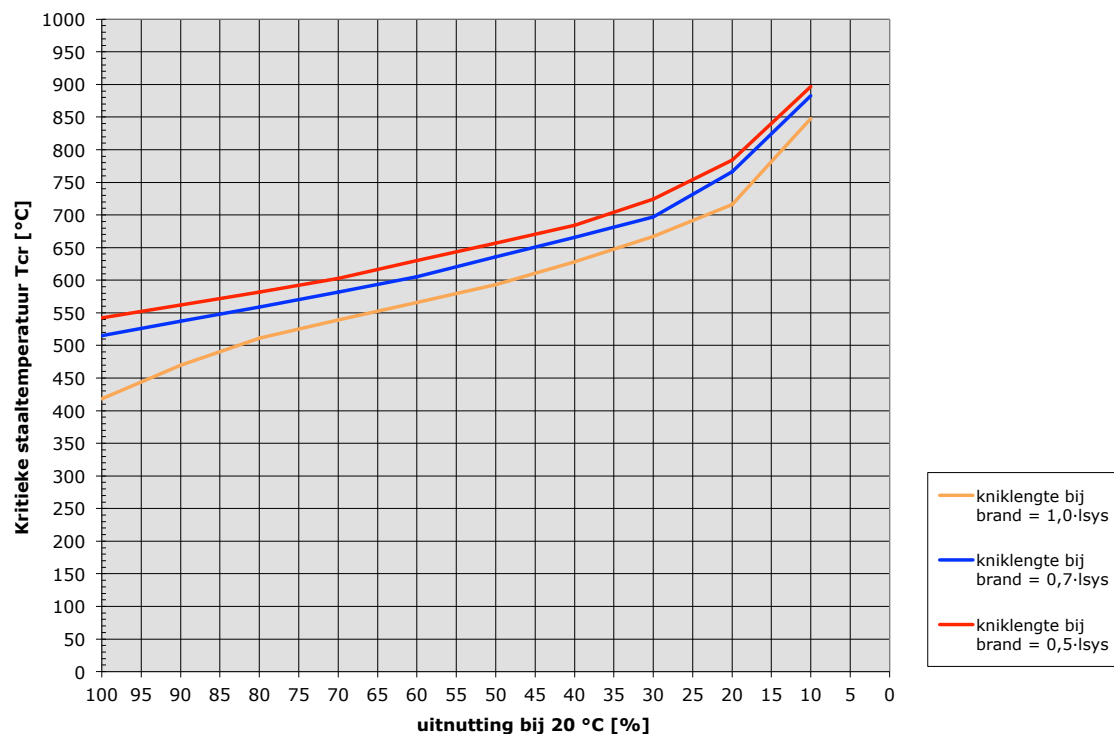
A5 Veilige kritieke staaltemperatuur θ_{cr} van kolommen: opslagfunctie

kolom HEA 240 (S355) met $l_{sys} = 3,6$ m; zware vloer (600 kg/m^2)



A6 Veilige kritieke staaltemperatuur θ_{cr} van kolommen: parkeerlfunctie

kolom HEA 240 (S355) met $l_{sys} = 3,6$ m; zware vloer (600 kg/m^2)



B Grafieken met veilige kritieke staaltemperaturen van kolommen voor de kantoorfunctie met variatie van parameters

De grafieken geven veilige ontwerpwaarden voor de kritieke staaltemperatuur θ_{cr} van kolommen in verdiepinggebouwen.

Er zijn conservatieve uitgangspunten aangehouden, zodat de gegeven waarden als ondergrens voor de werkelijke kritieke staaltemperatuur beschouwd kunnen worden. Bij genuanceerde berekening met projectspecifieke gegevens zullen de waarden hoger liggen en het is aan te bevelen in latere fasen van een project deze projectspecifieke berekeningen van de kritieke staaltemperatuur uit te (laten) voeren met het oog op kostenoptimalisatie.

De grafieken in deze bijlage zijn een parameterstudie waarbij grafiek A2 als basis gediend heeft:

A2 Grafiek met veilige kritieke staaltemperaturen van een HEA 240 kolom (S355) voor een kantoorfunctie met zware vloeren (600 kg/m^2) en 6 bouwlagen.

In B1 is gerekend met lichte vloeren (300 kg/m^2).

In B2 is de HEA 240 kolom met staalsoort S235 beschouwd.

In B3 en B4 is zijn gebouwen met 3 en 12 bouwlagen bestudeerd.

In B5 en B6 zijn andere HEA-profielen doorgerekend: 180A en 300A.

In B7 en B8 zijn HEB 240 en HEM 240 genomen.

In B9 t/m B12 zijn koker- en buiskolommen geanalyseerd.

Uitgangspunten bij de grafieken:

- berekening volgens de Eurocodes (NEN-EN 1990 + NB, NEN-EN 1991-1-1 + NB, NEN-EN 1991-1-2 + NB en NEN-EN 1993-1-2 + NB);
- zware vloeren (permanente vloerbelasting $G_k = 6,0 \text{ kN/m}^2$), m.u.v. B1 (3,0);
- voor klasse B Kantoorfunctie: opgelegde belasting = $2,5 \text{ kN/m}^2$ volgens tabel 6.2 t/m 6.10 van NEN-EN 1991-1-1 + NB; combinatiefactor $\Psi_0 = 0,5$ volgens tabel A1.1 van NEN-EN 1991-1-1 + NB; combinatiefactor $\Psi_2 = 0,3$ volgens tabel A1.1 van NEN-EN 1991-1-1 + NB;
- belastingfactoren bij $20 \text{ }^\circ\text{C}$ $\gamma_G = 1,2$ en $\gamma_Q = 1,5$ (bij brand zijn beide 1,0);
- de belastinggraad η_{fi} is bepaald voor de beganegrondkolom van een gebouw met 6 (gelijke) bouwlagen met behulp van formule (2.4) uit het BmS-Brandboek (incl. erratum) (3 in B3 en 12 in B4):

$$\eta_{fi} = \frac{nG_k + n\psi_2 Q_k}{n1,2G_k + 1,5Q_k + (n-1)1,5\psi_0 Q_k}$$

n = aantal verdiepingen

In de grafieken wordt θ_{cr} bepaald als functie van de uitnutting bij 20 °C (de 'unity check'), variërend van 10 tot 100%, voor 3 opties voor de kniklengte bij brand: 1,0, 0,7 en 0,5 maal de systeemplengte (waarvoor 3,6 m is aangehouden).

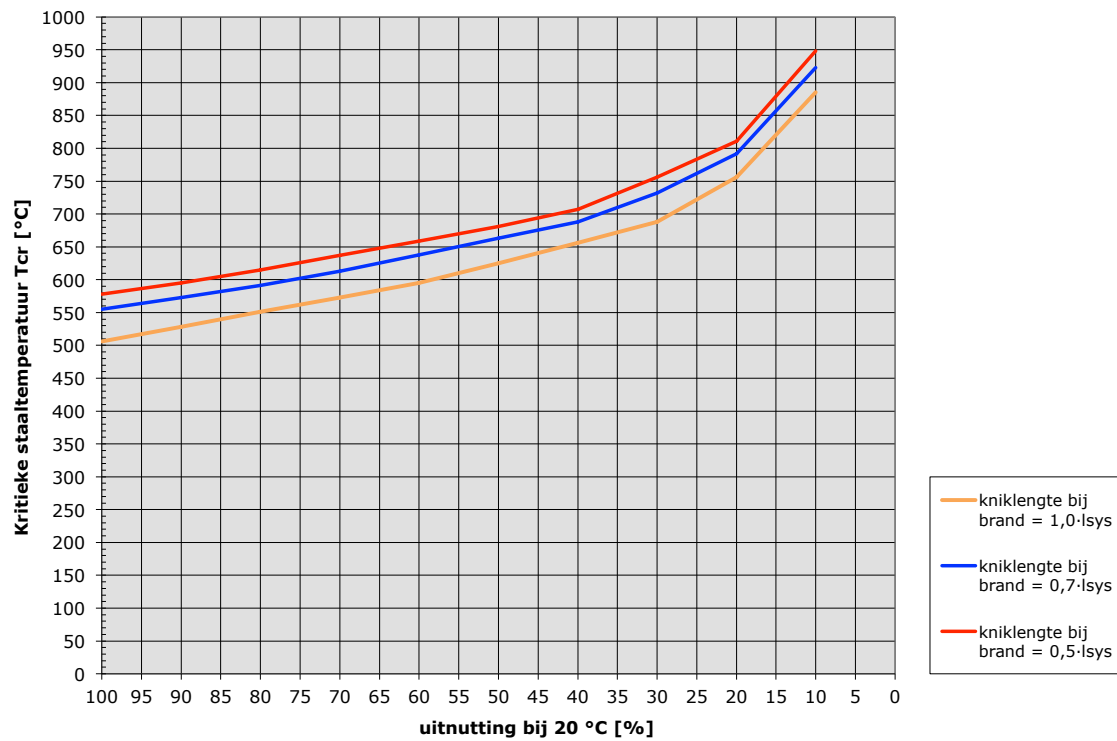
De berekening van θ_{cr} geschiedt volgens NEN-EN 1993-1-2 + NB, art. 4.2.3.2 (zuivere druk) met behulp van de spreadsheet van BmS (zie <http://www.brandveiligmetstaal.nl/pag/164/pagina.html>).

De volgende grafieken met veilige kritieke staaltemperaturen zijn opgenomen, zie bijlage C voor de tabellen:

- B1 kolom HEA 240 (S355) voor een kantoorfunctie met lichte vloeren (300 kg/m²) en 6 bouwlagen;
- B2 kolom HEA 240 (S235) voor een kantoorfunctie met zware vloeren (600 kg/m²) en 6 bouwlagen;
- B3 kolom HEA 240 (S355) voor een kantoorfunctie met zware vloeren (600 kg/m²) en 3 bouwlagen;
- B4 kolom HEA 240 (S355) voor een kantoorfunctie met zware vloeren (600 kg/m²) en 12 bouwlagen;
- B5 kolom HEA 180 (S355) voor een kantoorfunctie met zware vloeren (600 kg/m²) en 6 bouwlagen;
- B6 kolom HEA 300 (S355) voor een kantoorfunctie met zware vloeren (600 kg/m²) en 6 bouwlagen;
- B7 kolom HEB 240 (S355) voor een kantoorfunctie met zware vloeren (600 kg/m²) en 6 bouwlagen;
- B8 kolom HEM 240 (S355) voor een kantoorfunctie met zware vloeren (600 kg/m²) en 6 bouwlagen;
- B9 kokerkolom 150x150x6 (S355) voor een kantoorfunctie met zware vloeren (600 kg/m²) en 6 bouwlagen;
- B10 kokerkolom 250x250x8 (S355) voor een kantoorfunctie met zware vloeren (600 kg/m²) en 6 bouwlagen;
- B11 kokerkolom 350x350x10 (S275) voor een kantoorfunctie met zware vloeren (600 kg/m²) en 6 bouwlagen;
- B12 buiskolom 219,1x6 (S355) voor een kantoorfunctie met zware vloeren (600 kg/m²) en 6 bouwlagen.

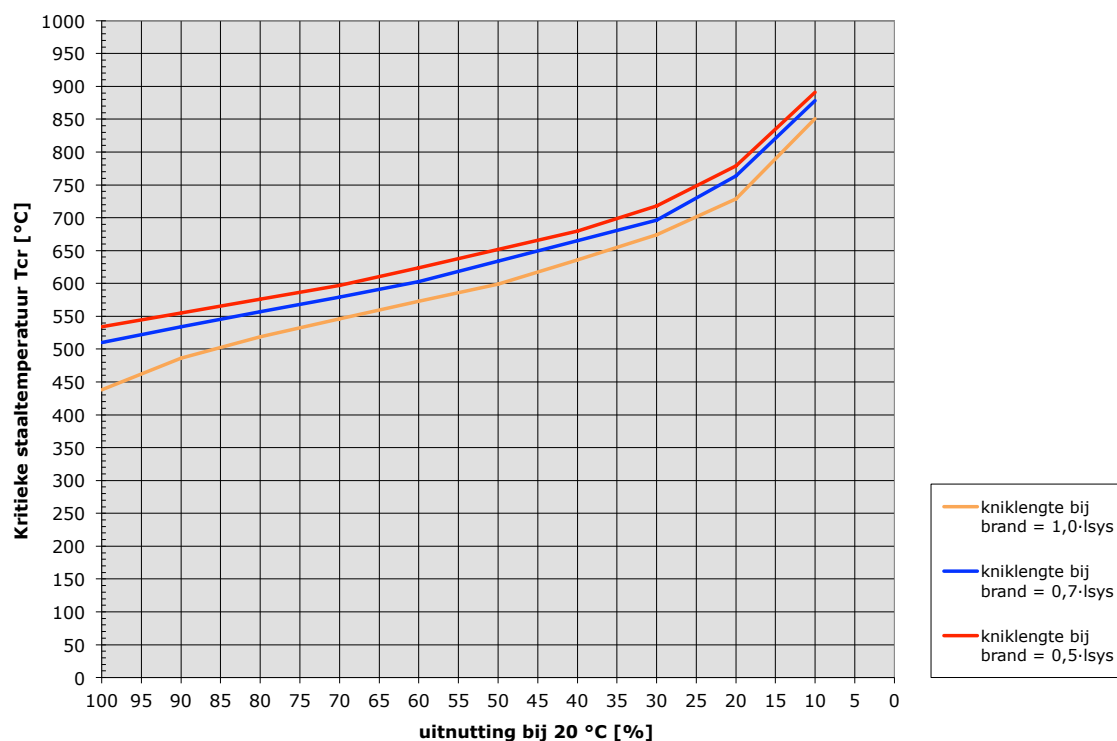
**B1 Veilige kritieke staaltemperatuur θ_{cr} kolom HEA 240 (S355):
kantoorfunctie met 6 bouwlagen en lichte vloer**

steemplengte $l_{sys} = 3,6$ m; lichte vloer (300 kg/m^2)

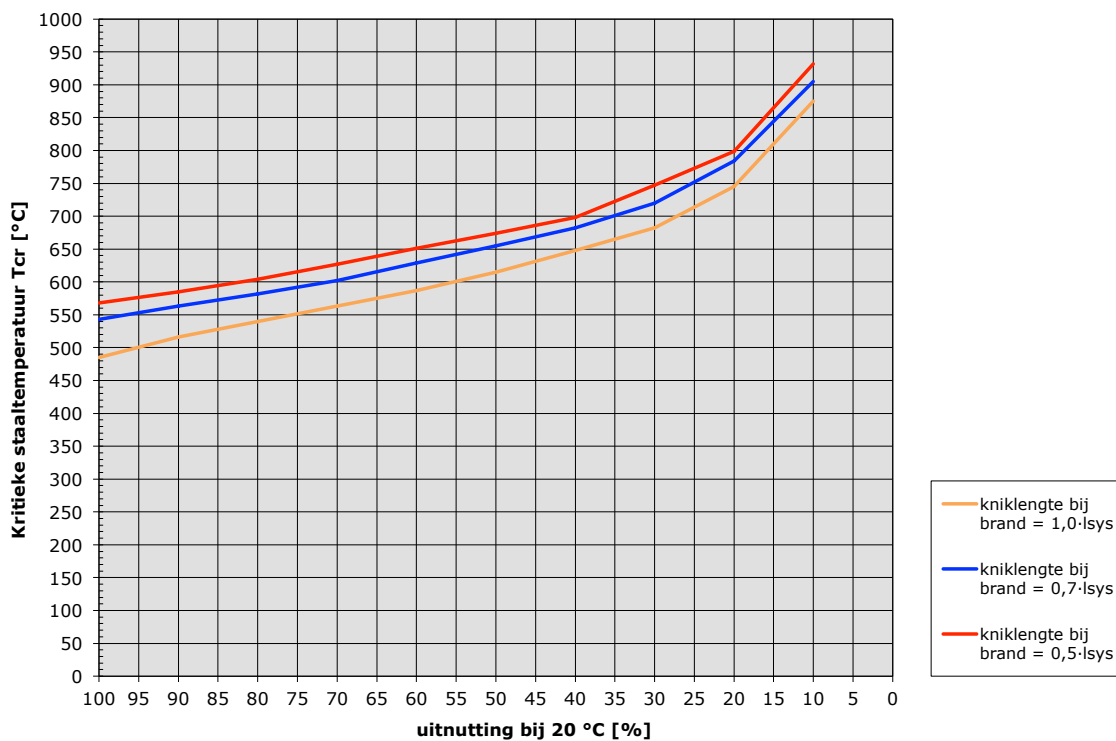


**B2 Veilige kritieke staaltemperatuur θ_{cr} kolom HEA 240 (S235):
kantoorfunctie met 6 bouwlagen en zware vloer**

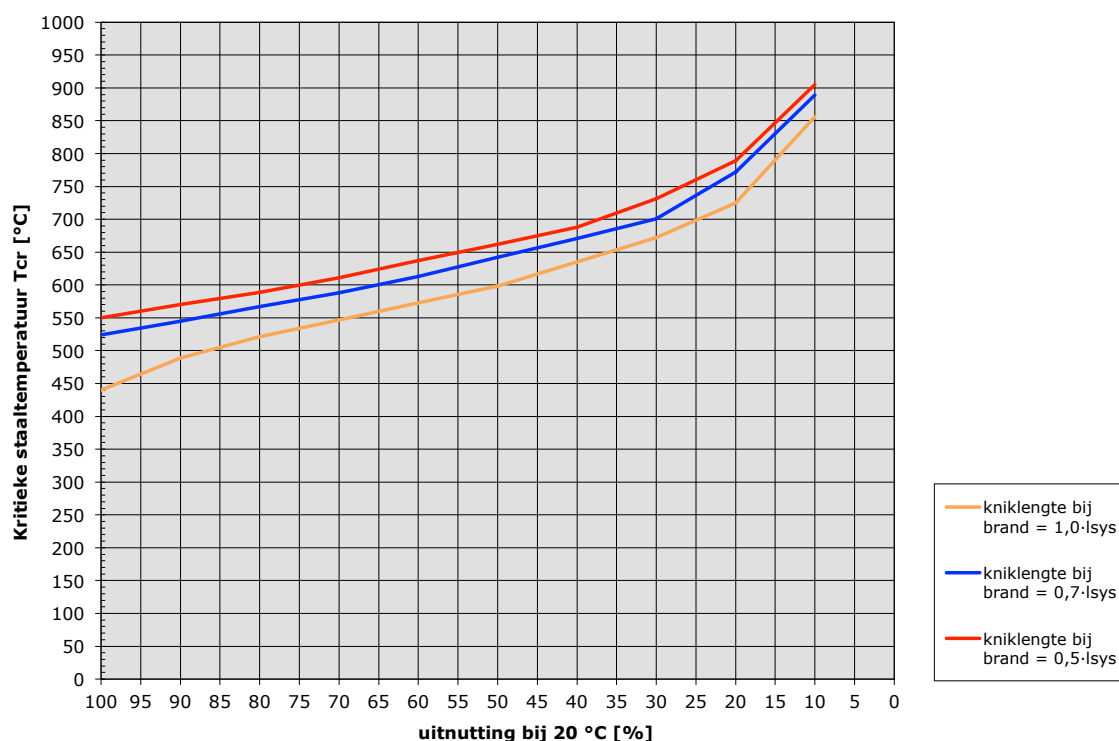
steemplengte $l_{sys} = 3,6$ m; zware vloer (300 kg/m^2)



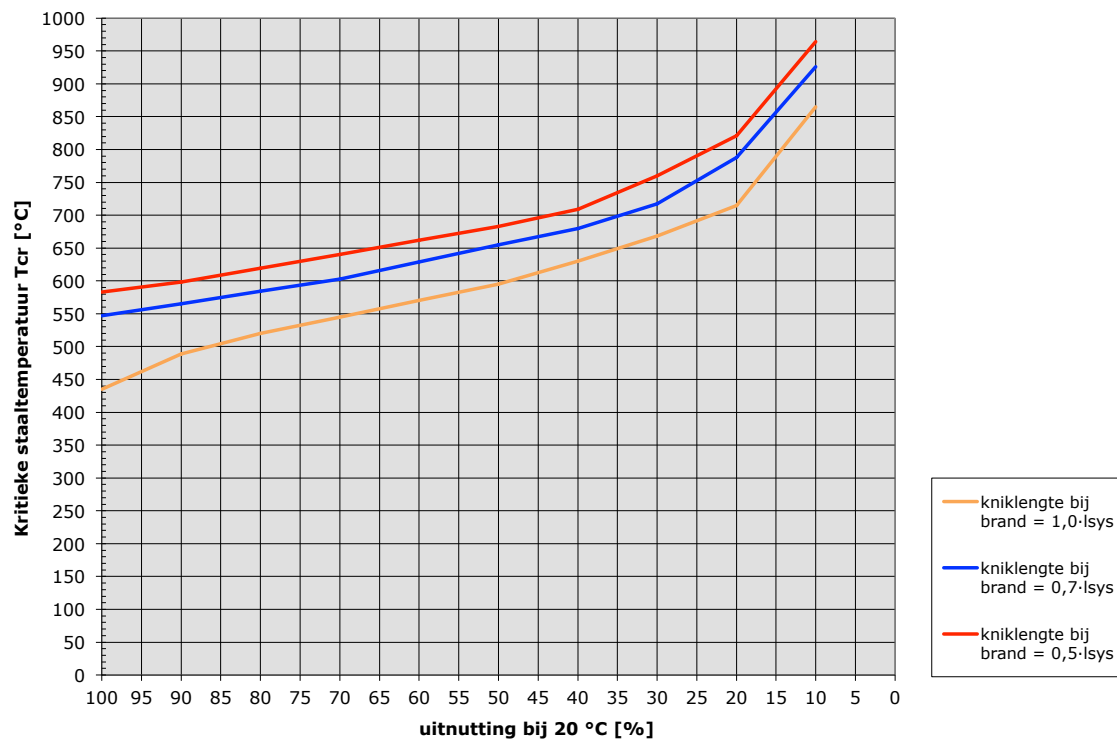
**B3 Veilige kritieke staaltemperatuur θ_{cr} kolom HEA 240 (S355):
kantoorfunctie met 3 bouwlagen en zware vloer**
systeemplengte $l_{sys} = 3,6$ m; zware vloer (600 kg/m^2)



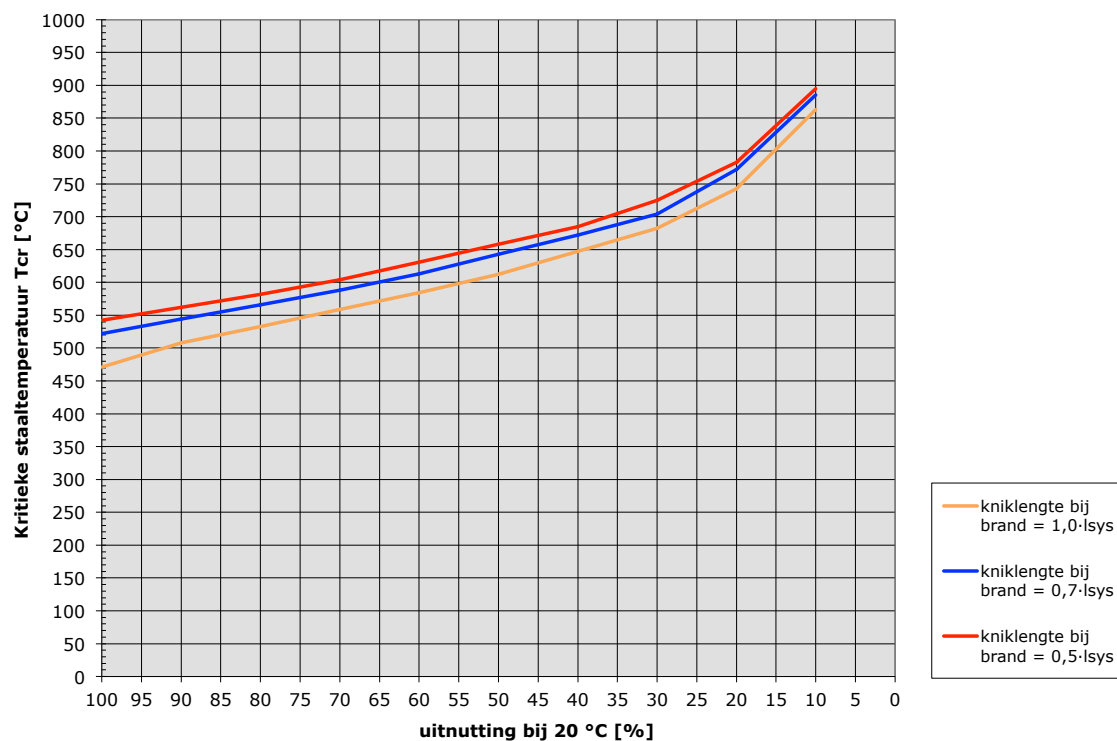
**B4 Veilige kritieke staaltemperatuur θ_{cr} kolom HEA 240 (S355):
kantoorfunctie met 12 bouwlagen en zware vloer**
systeemplengte $l_{sys} = 3,6$ m; zware vloer (600 kg/m^2)



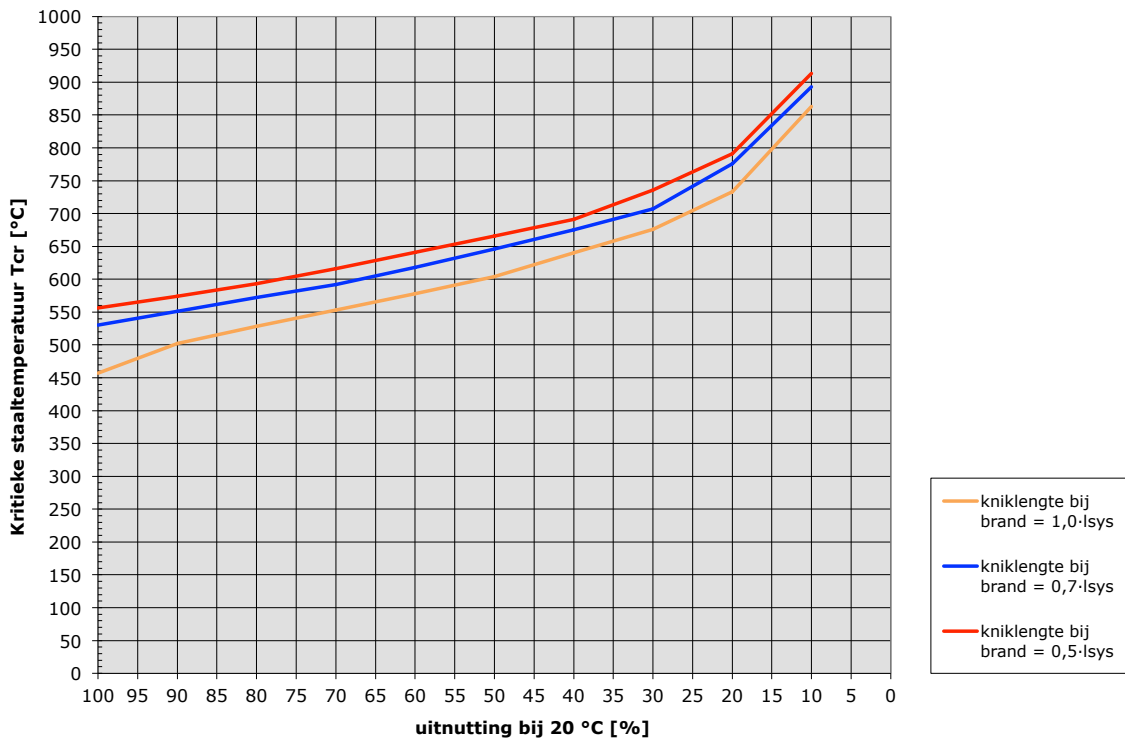
B5 Veilige kritieke staaltemperatuur θ_{cr} kolom HEA 180 (S355):
kantoorfunctie met 6 bouwlagen en zware vloer
 systeemplengte $l_{sys} = 3,6$ m; zware vloer (600 kg/m^2)



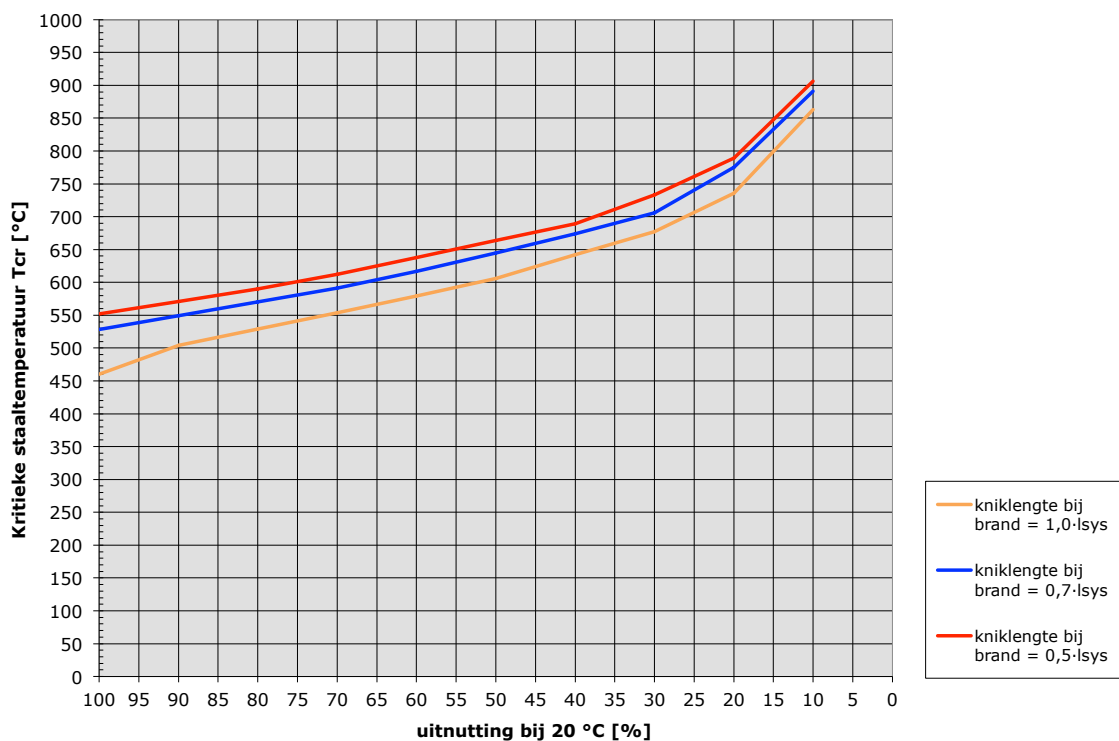
B6 Veilige kritieke staaltemperatuur θ_{cr} kolom HEA 300 (S355):
kantoorfunctie met 6 bouwlagen en zware vloer
 systeemplengte $l_{sys} = 3,6$ m; zware vloer (600 kg/m^2)



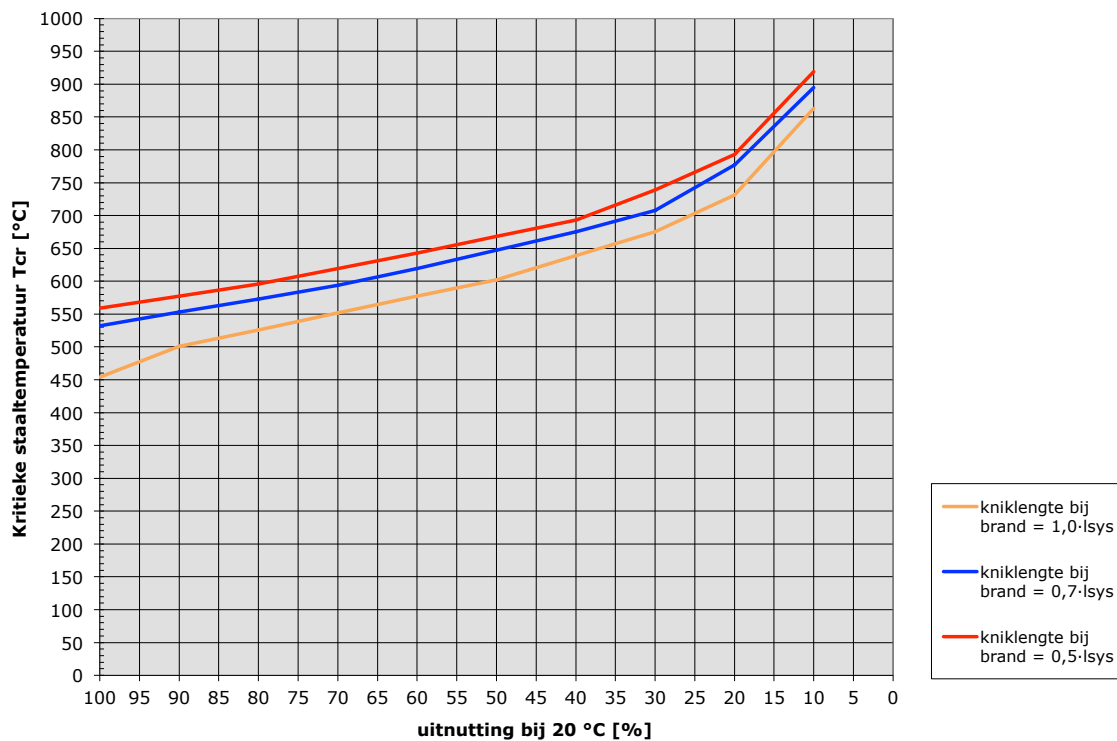
B7 Veilige kritieke staaltemperatuur θ_{cr} kolom HEB 240 (S355):
kantoorfunctie met 6 bouwlagen en zware vloer
 systeemplengte $l_{sys} = 3,6$ m; zware vloer (600 kg/m^2)



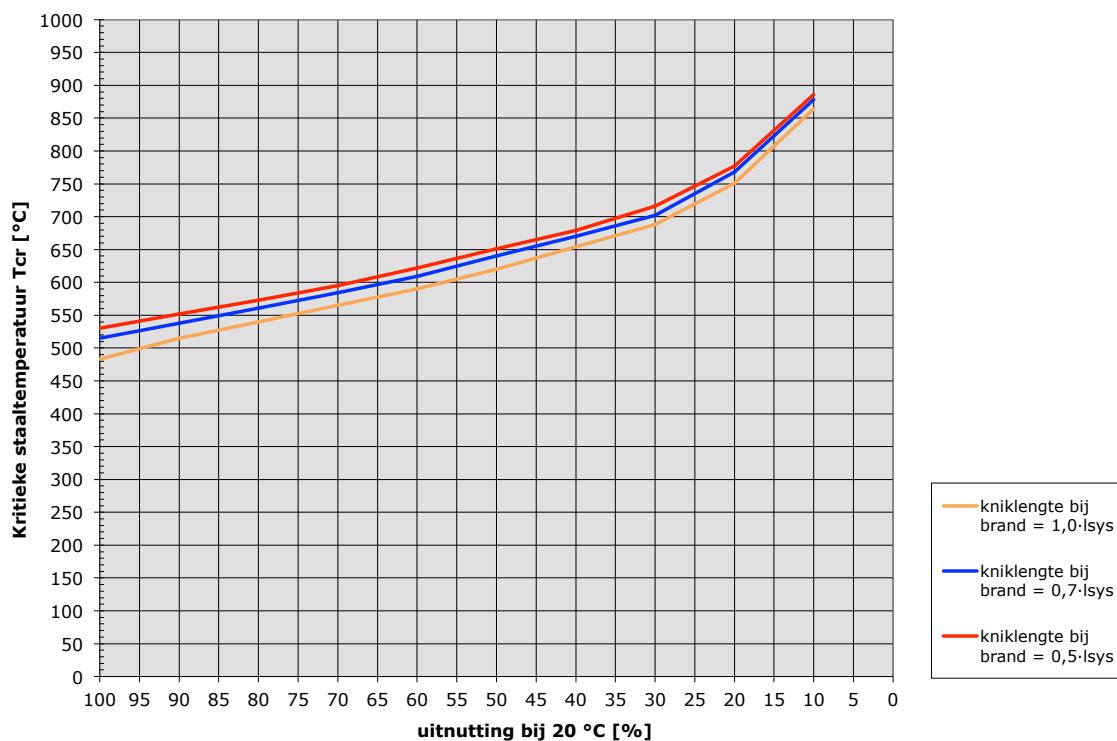
B8 Veilige kritieke staaltemperatuur θ_{cr} kolom HEM 240 (S355):
kantoorfunctie met 6 bouwlagen en zware vloer
 systeemplengte $l_{sys} = 3,6$ m; zware vloer (600 kg/m^2)



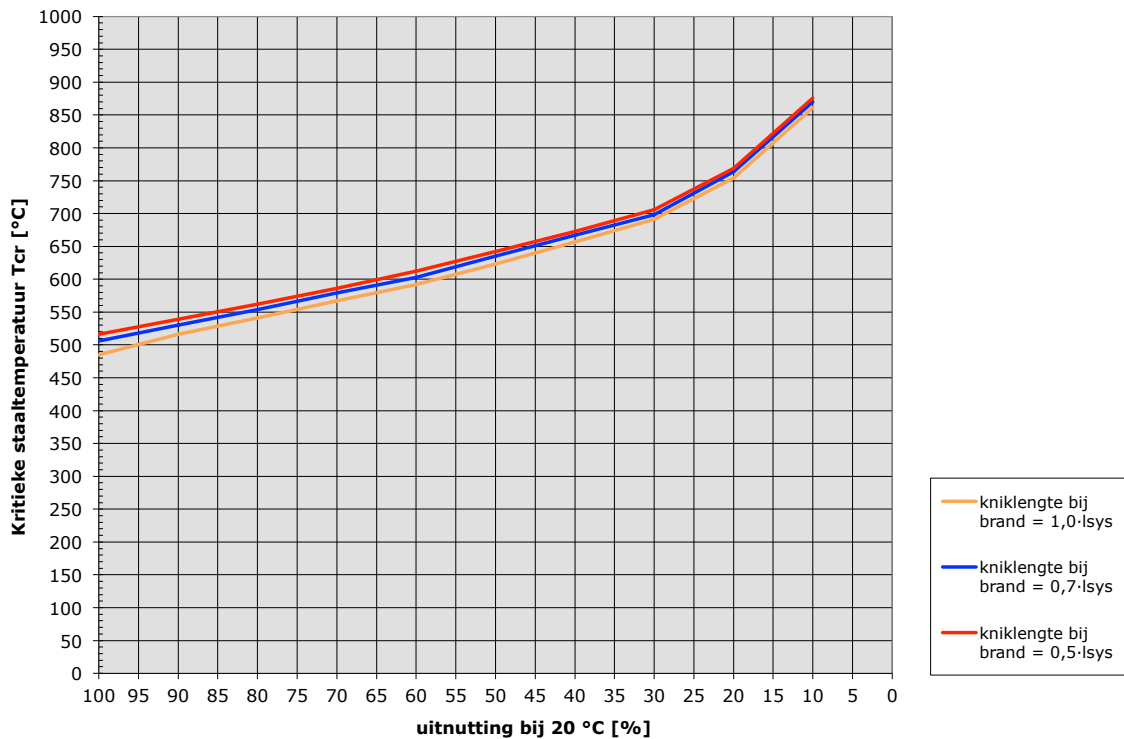
B9 Veilige kritieke staaltemperatuur θ_{cr} kolom 150x150x6 (S355):
kantoorfunctie met 6 bouwlagen en zware vloer
 systeemplengte $l_{sys} = 3,6$ m; zware vloer (600 kg/m^2)



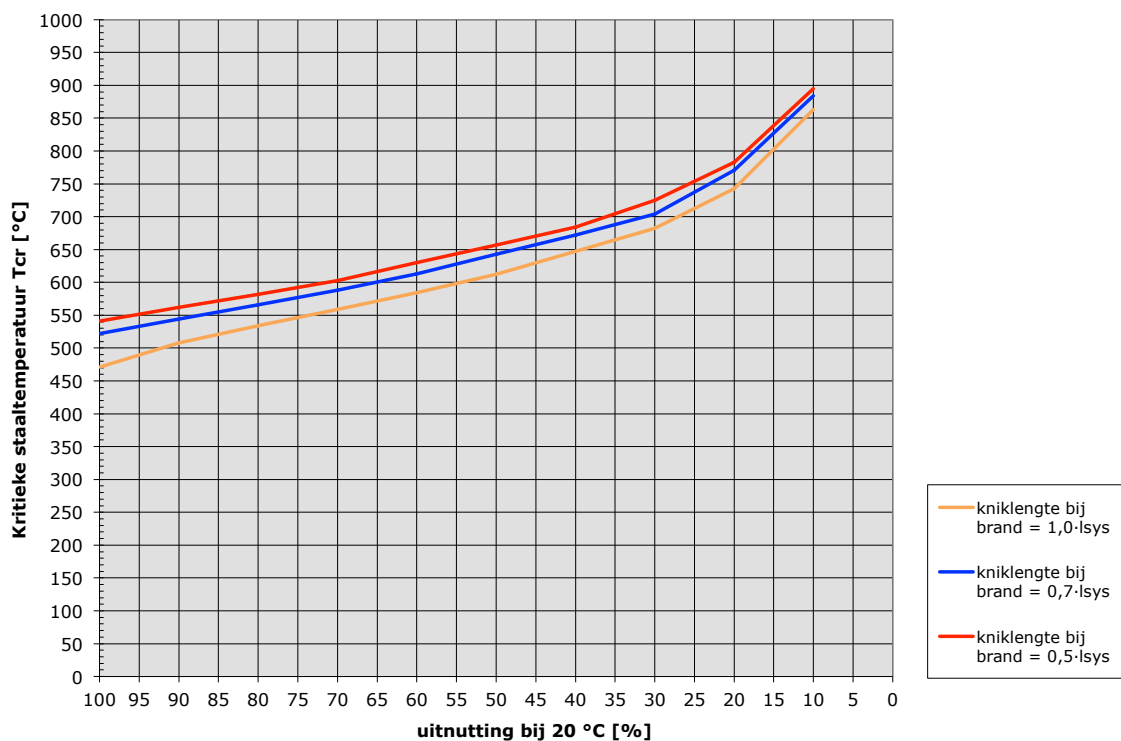
B10 Veilige kritieke staaltemperatuur θ_{cr} kolom 250x250x8 (S355):
kantoorfunctie met 6 bouwlagen en zware vloer
 systeemplengte $l_{sys} = 3,6$ m; zware vloer (600 kg/m^2)



B11 Veilige kritieke staaltemperatuur θ_{cr} kolom 350x350x10 (S275):
kantoorfunctie met 6 bouwlagen en zware vloer
 systeemplengte $l_{sys} = 3,6$ m; zware vloer (600 kg/m^2)



B12 Veilige kritieke staaltemperatuur θ_{cr} kolom 219,1x6 (S355):
kantoorfunctie met 6 bouwlagen en zware vloer
 systeemplengte $l_{sys} = 3,6$ m; zware vloer (600 kg/m^2)



C Tabellen bij de grafieken van bijlage A en B

Van de volgende grafieken met veilige kritieke staaltemperaturen zijn in deze bijlage de bijbehorende tabellen opgenomen:

- A1 Kolommen voor een woonfunctie;
- A2 Kolommen voor een kantoorfunctie;
- A3 Kolommen voor een bijeenkomstfunctie;
- A4 Kolommen voor een winkelfunctie;
- A5 Kolommen voor een opslagfunctie;
- A6 Kolommen voor een parkeerfunctie.
- B1 Kolom HEA 240 (S355) voor een kantoorfunctie met lichte vloeren (300 kg/m²) en 6 bouwlagen;
- B2 Kolom HEA 240 (S235) voor een kantoorfunctie met zware vloeren (600 kg/m²) en 6 bouwlagen;
- B3 Kolom HEA 240 (S355) voor een kantoorfunctie met zware vloeren (600 kg/m²) en 3 bouwlagen;
- B4 Kolom HEA 240 (S355) voor een kantoorfunctie met zware vloeren (600 kg/m²) en 12 bouwlagen;
- B5 Kolom HEA 180 (S355) voor een kantoorfunctie met zware vloeren (600 kg/m²) en 6 bouwlagen;
- B6 Kolom HEA 300 (S355) voor een kantoorfunctie met zware vloeren (600 kg/m²) en 6 bouwlagen;
- B7 Kolom HEB 240 (S355) voor een kantoorfunctie met zware vloeren (600 kg/m²) en 6 bouwlagen;
- B8 Kolom HEM 240 (S355) voor een kantoorfunctie met zware vloeren (600 kg/m²) en 6 bouwlagen;
- B9 Kokerkolom 150x150x6 (S355) voor een kantoorfunctie met zware vloeren (600 kg/m²) en 6 bouwlagen;
- B10 Kokerkolom 250x250x8 (S355) voor een kantoorfunctie met zware vloeren (600 kg/m²) en 6 bouwlagen;
- B11 Kokerkolom 350x350x10 (S275) voor een kantoorfunctie met zware vloeren (600 kg/m²) en 6 bouwlagen;
- B12 Buiskolom 219,1x6 (S355) voor een kantoorfunctie met zware vloeren (600 kg/m²) en 6 bouwlagen.

A1 • Veilige kritieke staaltemperatuur van kolommen: woonfunctie			
uitnutting bij 20 °C [%]	kniklengte bij brand = $0,5 \cdot l_{sys}$	kniklengte bij brand = $0,7 \cdot l_{sys}$	kniklengte bij brand = $1,0 \cdot l_{sys}$
100	550	524	440
90	570	545	489
80	589	567	521
70	611	588	547
60	637	613	577
50	662	642	598
40	688	671	635
30	731	701	672
20	789	772	725
10	905	889	856

A2 • Veilige kritieke staaltemperatuur van kolommen: kantoorfunctie			
uitnutting bij 20 °C [%]	kniklengte bij brand = $0,5 \cdot l_{sys}$	kniklengte bij brand = $0,7 \cdot l_{sys}$	kniklengte bij brand = $1,0 \cdot l_{sys}$
100	557	531	456
90	575	552	502
80	594	572	527
70	617	593	552
60	642	618	578
50	667	647	604
40	691	675	640
30	737	708	675
20	792	776	732
10	915	894	863

A3 • Veilige kritieke staaltemperatuur van kolommen: bijeenkomstfunctie			
uitnutting bij 20 °C [%]	kniklengte bij brand = $0,5 \cdot l_{sys}$	kniklengte bij brand = $0,7 \cdot l_{sys}$	kniklengte bij brand = $1,0 \cdot l_{sys}$
100	553	527	447
90	572	548	496
80	591	569	524
70	614	590	549
60	639	615	575
50	664	644	600
40	690	673	637
30	734	704	673
20	790	774	729
10	910	891	859

A4 • Veilige kritieke staaltemperatuur van kolommen: winkelfunctie			
uitnutting bij 20 °C [%]	kniklengte bij brand = $0,5 \cdot l_{sys}$	kniklengte bij brand = $0,7 \cdot l_{sys}$	kniklengte bij brand = $1,0 \cdot l_{sys}$
100	535	506	398
90	556	530	453
80	576	553	503
70	597	576	532
60	624	599	560
50	652	630	588
40	680	662	623
30	717	693	663
20	779	761	708
10	892	877	840

A5 • Veilige kritieke staaltemperatuur van kolommen: opslagfunctie			
uitnutting bij 20 °C [%]	kniklengte bij brand = $0,5 \cdot l_{sys}$	kniklengte bij brand = $0,7 \cdot l_{sys}$	kniklengte bij brand = $1,0 \cdot l_{sys}$
100	561	535	467
90	579	556	507
80	597	576	532
70	621	596	556
60	645	622	581
50	669	650	608
40	694	677	643
30	741	712	678
20	795	780	737
10	921	897	867

A6 • Veilige kritieke staaltemperatuur van kolommen: parkeerfunctie			
uitnutting bij 20 °C [%]	kniklengte bij brand = $0,5 \cdot l_{sys}$	kniklengte bij brand = $0,7 \cdot l_{sys}$	kniklengte bij brand = $1,0 \cdot l_{sys}$
100	542	515	418
90	562	537	470
80	582	559	511
70	603	582	539
60	630	605	566
50	657	636	593
40	684	666	628
30	724	697	667
20	784	766	716
10	897	883	848

B1 • Veilige kritieke staaltemperatuur kolom HEA 240 (S355): kantoorfunctie met lichte vloeren (300 kg/m²) en 6 bouwlagen			
uitnutting bij 20 °C [%]	kniklengte bij brand = $0,5 \cdot l_{sys}$	kniklengte bij brand = $0,7 \cdot l_{sys}$	kniklengte bij brand = $1,0 \cdot l_{sys}$
100	578	555	506
90	595	573	528
80	615	591	551
70	637	613	573
60	659	638	595
50	681	663	625
40	707	688	656
30	756	732	688
20	811	792	756
10	948	923	885

B2 • Veilige kritieke staaltemperatuur kolom HEA 240 (S235): kantoorfunctie met zware vloeren (600 kg/m²) en 6 bouwlagen			
uitnutting bij 20 °C [%]	kniklengte bij brand = $0,5 \cdot l_{sys}$	kniklengte bij brand = $0,7 \cdot l_{sys}$	kniklengte bij brand = $1,0 \cdot l_{sys}$
100	534	510	438
90	555	534	486
80	576	557	519
70	597	579	546
60	624	603	573
50	652	634	599
40	680	665	636
30	718	696	674
20	779	764	729
10	891	878	851

B3 • Veilige kritieke staaltemperatuur kolom HEA 240 (S355): kantoorfunctie met zware vloeren (600 kg/m²) en 3 bouwlagen			
uitnutting bij 20 °C [%]	kniklengte bij brand = $0,5 \cdot l_{sys}$	kniklengte bij brand = $0,7 \cdot l_{sys}$	kniklengte bij brand = $1,0 \cdot l_{sys}$
100	568	543	485
90	585	563	516
80	604	582	540
70	627	602	563
60	651	629	587
50	674	655	615
40	698	682	648
30	747	720	682
20	799	784	745
10	932	905	875

B4 • Veilige kritieke staaltemperatuur kolom HEA 240 (S355): kantoorfunctie met zware vloeren (600 kg/m²) en 12 bouwlagen			
uitnutting bij 20 °C [%]	kniklengte bij brand = $0,5 \cdot l_{sys}$	kniklengte bij brand = $0,7 \cdot l_{sys}$	kniklengte bij brand = $1,0 \cdot l_{sys}$
100	550	524	440
90	570	545	489
80	589	567	521
70	611	588	547
60	637	613	573
50	662	642	598
40	688	671	635
30	731	701	672
20	789	772	725
10	905	889	856

B5 • Veilige kritieke staaltemperatuur kolom HEA 180 (S355): kantoorfunctie, zware vloeren (600 kg/m²) en 6 bouwlagen			
uitnutting bij 20 °C [%]	kniklengte bij brand = $0,5 \cdot l_{sys}$	kniklengte bij brand = $0,7 \cdot l_{sys}$	kniklengte bij brand = $1,0 \cdot l_{sys}$
100	583	547	435
90	598	565	489
80	619	584	520
70	640	603	545
60	662	629	570
50	683	655	595
40	709	680	630
30	760	717	668
20	821	788	715
10	964	926	865

B6 • Veilige kritieke staaltemperatuur kolom HEA 300 (S355): kantoorfunctie met zware vloeren (600 kg/m²) en 6 bouwlagen			
uitnutting bij 20 °C [%]	kniklengte bij brand = $0,5 \cdot l_{sys}$	kniklengte bij brand = $0,7 \cdot l_{sys}$	kniklengte bij brand = $1,0 \cdot l_{sys}$
100	542	522	471
90	562	544	508
80	582	566	533
70	604	588	559
60	631	613	584
50	658	643	612
40	685	672	647
30	725	704	682
20	783	772	743
10	895	885	863

B7 • Veilige kritieke staaltemperatuur kolom HEB 240 (S355): kantoorfunctie met zware vloeren (600 kg/m²) en 6 bouwlagen			
uitnutting bij 20 °C [%]	kniklengte bij brand = $0,5 \cdot l_{sys}$	kniklengte bij brand = $0,7 \cdot l_{sys}$	kniklengte bij brand = $1,0 \cdot l_{sys}$
100	556	530	457
90	574	551	502
80	593	572	528
70	616	592	553
60	641	618	578
50	666	646	604
40	691	675	640
30	736	707	676
20	791	776	733
10	913	893	863

B8 • Veilige kritieke staaltemperatuur kolom HEM 240 (S355): kantoorfunctie met zware vloeren (600 kg/m²) en 6 bouwlagen			
uitnutting bij 20 °C [%]	kniklengte bij brand = $0,5 \cdot l_{sys}$	kniklengte bij brand = $0,7 \cdot l_{sys}$	kniklengte bij brand = $1,0 \cdot l_{sys}$
100	552	528	460
90	571	549	504
80	590	570	529
70	612	591	554
60	638	617	579
50	664	645	606
40	689	674	642
30	733	706	677
20	789	775	736
10	906	891	863

B9 • Veilige kritieke staaltemperatuur kolom 150x150x6 (S355): kantoorfunctie met zware vloeren (600 kg/m²) en 6 bouwlagen			
uitnutting bij 20 °C [%]	kniklengte bij brand = $0,5 \cdot l_{sys}$	kniklengte bij brand = $0,7 \cdot l_{sys}$	kniklengte bij brand = $1,0 \cdot l_{sys}$
100	559	532	454
90	577	553	501
80	596	573	526
70	619	594	552
60	643	619	577
50	668	647	602
40	693	675	639
30	739	708	675
20	793	777	731
10	919	895	863

B10 • Veilige kritieke staaltemperatuur kolom 250x250x8 (S355): kantoorfunctie met zware vloeren (600 kg/m²) en 6 bouwlagen			
uitnutting bij 20 °C [%]	kniklengte bij brand = $0,5 \cdot l_{sys}$	kniklengte bij brand = $0,7 \cdot l_{sys}$	kniklengte bij brand = $1,0 \cdot l_{sys}$
100	530	515	483
90	552	538	515
80	573	561	540
70	595	584	565
60	622	609	590
50	651	640	620
40	679	670	654
30	716	702	688
20	777	768	751
10	886	878	864

B11 • Veilige kritieke staaltemperatuur kolom 350x350x10 (S275): kantoorfunctie met zware vloeren (600 kg/m²) en 6 bouwlagen			
uitnutting bij 20 °C [%]	kniklengte bij brand = $0,5 \cdot l_{sys}$	kniklengte bij brand = $0,7 \cdot l_{sys}$	kniklengte bij brand = $1,0 \cdot l_{sys}$
100	516	506	485
90	539	530	516
80	562	554	541
70	586	579	567
60	612	603	592
50	642	635	623
40	673	667	657
30	706	698	691
20	769	764	754
10	876	870	861

B12 • Veilige kritieke staaltemperatuur kolom 219,6x6 (S355): kantoorfunctie met zware vloeren (600 kg/m²) en 6 bouwlagen			
uitnutting bij 20 °C [%]	kniklengte bij brand = $0,5 \cdot l_{sys}$	kniklengte bij brand = $0,7 \cdot l_{sys}$	kniklengte bij brand = $1,0 \cdot l_{sys}$
100	541	522	471
90	562	544	508
80	582	566	534
70	603	588	559
60	630	613	584
50	657	643	612
40	684	672	647
30	725	704	682
20	783	771	743
10	895	884	863



Bouwen met Staal

Boerhaavelaan 40
2713 HX Zoetermeer
Postbus 190

2700 AD Zoetermeer

tel. (079) 353 12 77

fax (079) 353 12 78

info@bouwenmetstaal.nl

www.bouwenmetstaal.nl