

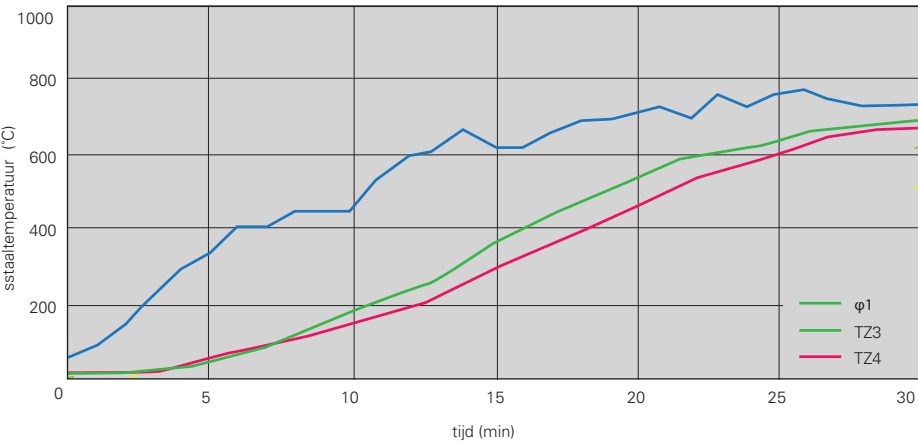
Verzinkt staal warmt trager op

Met de huidige Eurocode is de brandwerendheid van een staalconstructie niet afhankelijk van het wel of niet verzinkt zijn. Uit recent onderzoek blijkt dat de opwarming van verzinkt staal trager is, doordat er minder stralingswarmte wordt overgedragen. Dit wordt opgenomen in de nieuwe Eurocode. Bij een brandwerendheidseis van 30 minuten en relatief zware staalprofielen kan met een onbeschermd, verzinkte staalconstructie aan de eis worden voldaan. Een overzicht van de achtergronden, praktische tools en toepassingsmogelijkheden.

dr.ir. A.F. Hamerlinck en J-P Vêriter

Ralph Hamerlinck is senior adviseur bij Bouwen met Staal en directeur van Adviesbureau Hamerlinck in Roosendaal.

Jean-Philippe Vêriter is Operations Manager Fire Safety bij Seco in Brussel.



1. Proefstukken in de testen van Vesel^[6]: vergelijking van de gastemperatuur (φ1) en de temperaturen van de proefstukken van verzinkt staal (TZ4) en ongecoat staal (TZ3)^[8].

De draagkracht van een staalconstructie tijdens brand, uitgedrukt in minuten brandwerendheid, hangt af van de opwarmingssnelheid en de door de temperatuurverhoging optredende reductie van de sterkte en stijfheid. De opwarming van onbeschermd staal wordt bepaald door de massiviteit (uitgedrukt in de zogenaamde profielfactor). Een slank IPE- of dunwandig kokerprofiel warmt snel op en een HEM- of dikwandig kokerprofiel warmt langzamer op. De warmteoverdracht van brand naar staal bestaat hierbij uit convectie (luchtstroming) en straling. De stralingsoverdracht wordt bepaald door de temperaturen van de brandruimte en van het staal (beide tot de macht vier), de constante van Stefan-Boltzmann, de ‘zichtfactor’ (F_v , meestal 1) en de emissiefactoren van de brand ϵ_{a} en het

staaloppervlak ϵ_{m} . In de huidige Eurocode^[3] worden deze gesteld op $\epsilon_{\text{a}} = 1,0$ en $\epsilon_{\text{m}} = 0,7$. Metalen (zoals zink) met een lagere emissiefactor absorberen minder stralingswarmte en warmen daardoor minder snel op. Dit kan bij verzinkt staal leiden tot een grotere draagkracht tijdens brand.

Onderzoek

Na een eerste publicatie in 1990^[2] over een lagere emissiefactor die in het laboratorium is vastgesteld voor dunne verzinkte staalplaat, is er de laatste jaren veel onderzoek verricht om hier een bredere wetenschappelijke basis onder te leggen en de gemeten waarden te valideren voor de praktijk^[1, 5, 6, 7, 8]. Naast wetenschappelijk onderzoek bij een aantal Europese universiteiten zijn diverse brand-

proeven uitgevoerd om de theoretisch en in het lab vastgestelde lagere emissiefactor van verzinkt staal experimenteel in grote ovens te valideren. In [8] worden de in de jaren 2010-2015 uitgevoerde experimenten samengevat (*afb. 1*) en de in 2016-2017 door CTICM/Efectis in Frankrijk uitgevoerde testen uitvoeriger beschreven. Hierbij zijn drie sets standaardbrandproeven uitgevoerd^[1] (*afb. 2*):

- vierzijdig aan brand blootgestelde I- en H-profielen, getest als kolom;
- driezijdig aan brand blootgestelde I- en H-profielen, getest als ligger;
- vierzijdig aan brand blootgestelde vierkante buisprofielen, getest als kolom.

De gemeten temperaturen zijn vergeleken met analytische berekeningen van de opwarming van verzinkte stalen profielen, waarbij een emissiefactor (ϵ_{m}) van 0,35 is aangehouden (*afb. 3*). Hieruit volgt als conclusie dat berekeningen met $\epsilon_{\text{m}} = 0,35$ een goede overeenstemming geven met de metingen, en een benadering aan de veilige kant opleveren.

Eurocode

Op basis van het verrichte onderzoek is een wijziging van de Eurocode voorzien^[4], die reeds door de CEN-werkgroep TC 250/SC 3/ WG 2 geaccepteerd is. Op basis van gelijkwaardigheid kan deze wijziging in Nederland al worden toegepast. De wijziging in de emissiefactor geldt voor verzinkt staal volgens EN-ISO 1461 met een staalsamenstelling volgens categorie A of B van EN-ISO 14713-2, tabel 1 (gangbaar verzinkt staal) en is als volgt:

- $\epsilon_{\text{m}} = 0,35$ (staaltemperatuur ≤ 500 °C);
- $\epsilon_{\text{m}} = 0,70$ (staaltemperatuur > 500 °C).

Dit betekent dat het gunstige effect boven 500 °C (door het afsmelten van de zinklaag) verdwijnt en de eigenschappen dan gelijk zijn aan niet-verzinkt staal, waarvoor over het gehele temperatuurbereik geldt: $\epsilon_{\text{m}} = 0,70$.

Ontwerphulpmiddelen

Voor de opwarming van staal kent het boek *Brand*^[9] diverse hulpmiddelen:



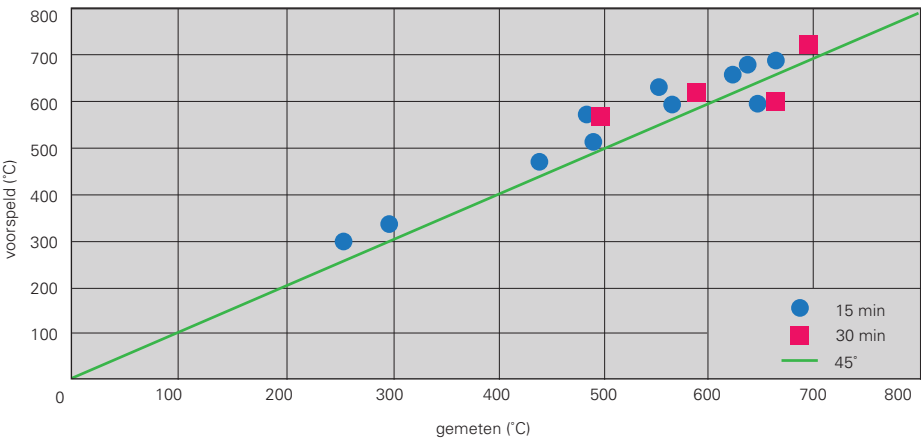
2. Proefstukken in de testen van CTICM-Galvazinc-EGGA, uitgevoerd bij Efectis Frankrijk^[1]: liggertesten met driezijdige verhitting en kolomtesten (H-profielen en kokers) met vierzijdige verhitting^[8].

- tabel 4.4 (*afb. 4*) met de staaltemperatuur na 20, 30, 60, 90 en 120 minuten standaardbrand als functie van de profielfactor (die uit de profielenboekjes kan worden gehaald of uit tabel 2.7 van [9]);
- tabel 4.6 (*afb. 5*) met de staaltemperatuur na 30 minuten standaardbrand voor IPE-, HEA-, HEB- en HEM-profielen;
- afbeelding 2.12 (*afb. 6*) met de Euronomogrammen, waaruit de opwarming als functie van de tijd/brandwerendheid en de profielfactor kan worden afgelezen.

Van deze hulpmiddelen zijn equivalenten ontwikkeld voor verzinkt staal met de daarvoor geldende emissiefactor van $\epsilon_{\text{m}} = 0,35$ tot 500 °C. Deze zijn opgenomen in [10]. Een klein deel daarvan is weergegeven in *afbeeldingen 4, 5 en 6* om de effecten en praktische consequenties voor verzinkte staalconstructies te tonen.

Praktische toepassing

Het praktische toepassingsgebied voor onbekleed staal beperkt zich (in Nederland) tot een eis van 30 minuten brandwerendheid bij relatief zware profielen (HEB, HEM, dikwandige buisprofielen) en/of lage belastinggraden. In dat gebied kan verzinkt staal net iets extra's bieden.



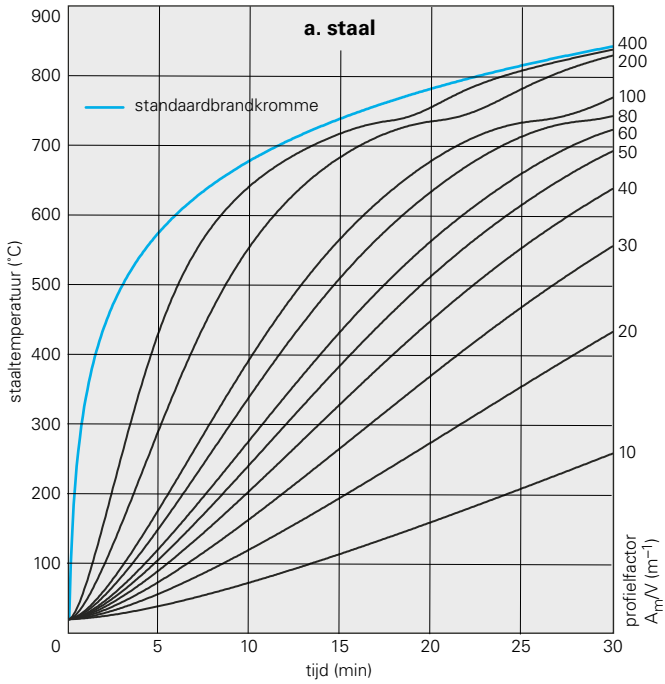
3. Vergelijking van berekende temperaturen (bij een emissiefactor $\epsilon_{\text{m}} = 0,35$) en in de brandproeven (van CTICM-Galvazinc-EGGA) gemeten temperaturen na 15 en 30 minuten brand.

- Na 30 minuten is bij verzinkt staal sprake van meer dan 100 °C lagere temperaturen tot een profielfactor A_{m}/V van 50 m⁻¹. Voor hogere profielfactoren daalt dit verschil tot 15 °C voor $A_{\text{m}}/V = 110$ m⁻¹ en vanaf $A_{\text{m}}/V = 150$ m⁻¹ is het verschil verwaarloosbaar. Dit geldt eveneens voor 60 minuten vanaf $A_{\text{m}}/V = 50$ m⁻¹ (*afb. 4*).
- Het vorige punt kan geïllustreerd worden met een toepassingsvoorbeeld van een

HEB-ligger. Stel een HEB 320-ligger onder een betonvloer (driezijdig verhit) heeft een kritieke staaltemperatuur (berekend volgende de Eurocode) van 620 °C. Uit *afbeelding 5* volgt dat de staaltemperatuur (zonder verzinken) na 30 minuten 701 °C is. Dat betekent dat de ligger brandwerend beschermd moet worden, of overgedimensioneerd naar HEB 450. De verzinkte stalen ligger is na 30 minuten 618 °C, wat voldoet. Er is in dit (realisti-

profielfactor A_m/V	temperatuur (°C)	
	staal	verzinkt staal
30	555	413
40	637	496
50	692	598
60	722	669
70	735	712
80	742	732
90	754	739
100	768	751
120	794	782
130	803	794
140	810	804
150	815	812
175	824	823
200	829	828
300	835	835
400	837	837

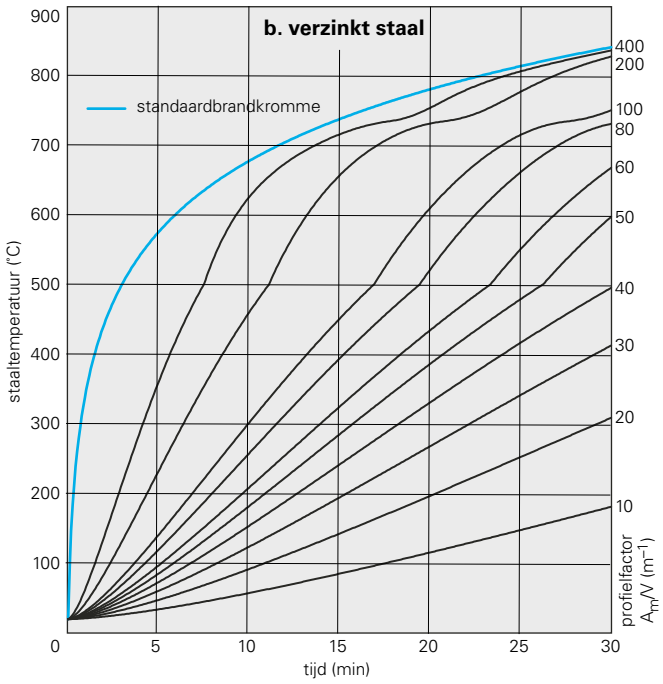
4. Deel van tabel 4.4 uit [9], voor staal en verzinkt staal (met $\epsilon_m = 0,35$ tot 500 °C): staaltemperatuur na 30 minuten standaardbrand als functie van de profielfactor. Voor een uitgebreider overzicht (andere tijdsduren en meer profielfactoren), zie [10].



6. Nomogrammen voor de opwarming van staal (a) en verzinkt staal (b) gedurende 30 minuten blootstelling aan de standaardbrand (referentie is afb. 2.12 uit [9]).

HEB				
	staal; vierzijdig verhit	staal; driezijdig verhit	verzinkt staal; vierzijdig verhit	verzinkt staal; driezijdig verhit
160	777	741	760	731
180	767	737	750	723
200	757	734	741	709
220	750	730	737	694
240	743	724	745	675
260	741	721	731	665
280	739	717	727	654
300	736	707	719	632
320	734	701	709	618
340	733	698	703	612
360	731	695	697	605
400	729	692	688	599
450	726	689	679	594
500	723	687	670	590

5. Tabel 4.6 uit [9], waarbij een onderdeel is weergegeven voor staal en voor verzinkt staal (met emissiefactor $\epsilon_m = 0,35$ tot 500 °C): staaltemperatuur na 30 minuten standaardbrand voor een selectie HEB-profielen. Voor een uitgebreider overzicht (alle IPE, HEA, HEB en HEM), zie [10].



Literatuur 1. G. Bihina, *Temperature assessment of galvanized steel profiles: validation of proposed emissivity values for bath galvanized steel*, Technical report A 30.4.2018, Centre Technique Industriel de la Construction Métallique, European General Galvanizers Association, Reddicroft (UK) 2017. • 2. J.J.P. Elich en A.F. Hamerlinck, ‘Thermal Properties of Galvanized Steel and its Importance in Enclosure Fire Scenarios’, *Fire Safety Journal* 16 (1990), p. 469-482. • 3. *NEN 1993-1-2* (Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-2: General rules -Structural fire design), 2005 + C1, 2006 + C2, 2011 + NB 2015. • 4. *prEN 1993-1-2* (Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-2: General rules -Structural fire design, 2nd draft), 2019. • 5. Ch. Gaigl, M. Mensinger, *Hot dip galvanized steel constructions under fire exposure*, 2nd International Fire Safety Symposium, IFireSS 2017, Napels (IT) 2017. • 6. J. Jirku, F. Wald, ‘Influence of Zinc Coating to a Temperature of Steel Members’, *Fire Journal of Structural Fire Engineering* 6 (2015), p. 141-146. • 7. S. Raszková, *Emissivity of hot dip galvanized steel*, MS thesis, Czech Technical University, Praag 2019. • 8. S. Raszková, F. Wald, G. Bihina, M. Malaska, Ch. Gaigl en V. Rus, *Emissivity of hot dip galvanized surfaces in future development of EN 1993-1-2*, (uitgever onbekend) verschijnt in 2020. • 9. A.F. Hamerlinck, *Brand, Brandveiligheid en berekening van de brandwerendheid van staalconstructies voor gebouwen volgens Eurocode 3*, Bouwen met Staal, Zoetermeer 2010. • 10. https://www.brandveiligmetstaal.nl/pag/1327/9_brandwerendheid_van_verzinkt_staal.html. • 11. A.F. Hamerlinck, A. Breunese, L.M. Noordijk, D.W.L. Jansen en N.J. van Oerle, *Richtlijn Brandveiligheid stalen parkeergarages*, Bouwen met Staal, Zoetermeer 2011.



7. Bij een open parkeergarage en Fire Safety Engineering met autobrandscenario is het vaak mogelijk verzinkt staal zonder of met beperkte overdimensionering (en zonder brandwerende bescherming) toe te passen.

sche) praktijkvoorbeeld dus geen kostenverhogende brandwerende bekleding nodig. • Uit *afbeelding 6* (en uit de uitgebreide versie van *afbeelding 4*^[10]) kan geconcludeerd worden dat tot 20 minuten ongeveer 5 minuten winst in brandwerendheid geboekt wordt tot een profielfactor A_m/V van 80 m⁻¹ ($\theta_{a,verinkt}$ na 20 minuten $\neq \theta_{a,onverinkt}$ na 15 minuten) bij een kritische staaltemperatuur $\theta_{a,cr}$ tot 525 °C. Bij 30 minuten is de ‘winst’ afhankelijk van A_m/V : – 8 minuten bij $A_m/V = 40$ m⁻¹ (HEM 240-ligger of kokerkolom met t = 25 mm) en $\theta_{a,cr} = 500$ °C; – 4,5 minuut bij $A_m/V = 60$ m⁻¹ (HEB 260-ligger of kokerkolom met t = 16 mm) en $\theta_{a,cr} = 670$ °C; – 2,5 minuut bij $A_m/V = 80$ m⁻¹

(HEA 260-ligger of kokerkolom met t = 12,5 mm) en $\theta_{a,cr} = 730$ °C; – 1,5 minuut bij $A_m/V = 100$ m⁻¹ (HEA 200-ligger of kokerkolom met t = 10 mm) en $\theta_{a,cr} = 750$ °C.

Een tweede toepassingsgebied bestaat uit situaties waarbij Fire Safety Engineering wordt toegepast. Als voorbeeld een open parkeergarage (*afb. 7*) waarbij de *Richtlijn Brandveiligheid stalen parkeergarages*^[11] wordt toegepast. Voor een eis van 60 minuten is een brandscenario beschouwd met vier auto’s. Een kokerkolom K250x12,5 staat tussen twee brandende auto’s links en twee brandende auto’s rechts van de kolom. De kritieke staaltemperatuur (berekend volgende de Eurocode) bedraagt

540 °C. De maximale staaltemperatuur (zonder verzinken) is in dit scenario 555 °C. De kolom voldoet niet en moet worden overgedimensioneerd naar K250x16. De verzinkte stalen kolom bereikt een maximale staaltemperatuur van 460 °C, en voldoet.

Conclusie

Verzinkt staal vertoont bij brand een tragere opwarming door de gunstige (emissie-)eigenschappen van de zinklaag tot ± 500 °C. In het praktische toepassingsgebied van 30 minuten brandwerendheid is er bij de zwaardere profielen (HEB, HEM, dikwandige buisprofielen) en/of lage belastinggraden voordeel en is uitvoering zonder brandwerende bescherming van de verzinkte staalconstructie mogelijk. •