

# Tweede generatie Eurocodes Brand

**Met de Eurocodes 'brand' hebben de constructeurspraktijk en specialisten brandveiligheid instrumenten in handen om het buitengewone belastinggeval brand en de brandwerendheid van stalen- en staal-betonnen constructies te berekenen en de veiligheid te waarborgen. De huidige generatie Eurocodes zijn gebaseerd op grootschalige praktijkonderzoeken en de daarmee verworven kennis van twee decennia geleden. De sindsdien opgedane praktijkervaring en nieuwe kennis en inzichten worden op dit moment in het huidige ontwikkelproces van de tweede generatie Eurocodes opgenomen. Hiermee ontstaan nieuwe kansen en mogelijkheden.**

**dr.ir. A.F. Hamerlinck, ing. B. Oostdam RC, ing. R.J. Stark en ir. P. Steenbakkers**

Bianca Oostdam is constructeur bij IMd Raadgevende Ingenieurs, Rotterdam en voorzitter van Technische Commissie 3 - Brandveiligheid van Staalconstructies van Bouwen met Staal. Ralph Hamerlinck is senior adviseur bij Bouwen met Staal en directeur van Adviesbureau Hamerlinck in Roosendaal. Rob Stark is directeur bij/van IMd Raadgevende Ingenieurs.

Pascal Steenbakkers is Associate Director bij Arup in Amsterdam.

In Nederland stelt het Bouwbesluit als functionele eis aan de sterkte van bouwconstructies bij brand dat een bouwwerk bij brand gedurende redelijke tijd kan worden verlaten en doorzocht, zonder gevaar voor instorting. Het Bouwbesluit stelt daarbij prestatie-eisen aan de brandwerendheid van constructies, en stuurt voor de bepaling hiervan de Eurocodes brand aan. Via NEN-EN 1990 en NEN-EN 1991-1-2 zijn de belastingen bij brand in de buitengewone belastingcombinatie brand te bepalen. De berekening van de brandwerendheid geschiedt volgens NEN-EN 1993-1-2 (staal) en NEN-EN 1994-1-2 (staal-beton).

Deze normbladen worden momenteel in Europees verband gereviseerd door CEN. Hoewel de wijzigingen nog niet officieel gepubliceerd en van kracht zijn in Nederland, is het van belang om nu reeds kennis te nemen van de nieuwe ontwikkelingen en trends binnen de normcommissies.

Daarnaast bestaat er de mogelijkheid via de Technische Commissie 3 van Bouwen met Staal tot het inzien van de achtergrondinformatie van deze wijzigingen en waar mogelijkheid tot het geven van terugkoppeling.

Waar het nieuwe onderwerpen of experti-

se betreft, kan hiervan in de praktijk reeds gebruik worden gemaakt van de nieuwe ontwikkelingen, bijvoorbeeld als aanvullende informatie bij toepassingen in het kader van gelijkwaardigheid (artikel 1.3 van het Bouwbesluit). Hiervoor kan dan gebruik gemaakt worden van de (final) drafts van CEN, van de bijbehorende achtergrondinformatie of via artikelen in het vakblad *Bouwen met Staal* waar de nieuwe rekenregels uiteengezet worden. Op basis van de aankomende wijzigingen in de Eurocodes is het belangrijk dat ook onze Nationale Bijlagen daarop worden aangepast.

## **Eurocodes brand – het proces**

Op dit moment wordt gewerkt aan de nieuwe generatie Eurocodes die naar verwachting vanaf 2024 gefaseerd worden ingevoerd. In dit artikel richten we ons specifiek op de Eurocodes voor brand.

De voor staal onder brandcondities relevante Eurocodedelen bevinden zich in verschillende fasen: NEN-EN 1991-1-2 (belastingen bij brand) in fase 1, NEN-EN 1993-1-2 (staal bij brand) in fase 2 en NEN-EN 1994-1-2 (staal-beton bij brand) in fase 3. Dit betekent

dat de inhoud van NEN-EN 1991-1-2 vrijwel definitief is. De CEN *enquiry fase* (formele goedkeuring) vindt momenteel plaats, waarbij de finale technische goedkeuring reeds heeft plaatsgevonden in CEN TC 250 SC 1. Voor NEN-EN 1993-1-2 vindt de finale technische goedkeuring in oktober 2020 plaats in CEN TC 250 SC 3, waarbij er al een 'final document' (april 2020) beschikbaar is. Voor NEN-EN 1994-1-2 (dat ongeveer 1 jaar achter loopt op NEN-EN 1993-1-2) is een draft aan CEN opgeleverd door het projectteam. Hierdoor is er al zicht op wat er in de nieuwe norm opgenomen gaat worden. Uiteindelijk komen vanaf 2022 de definitieve EN-normen beschikbaar in de drie hoofdtalen, waarna elke land de vertalingen en Nationale Bijlagen kan gaan opstellen.

## **Eurocode belastingen**

Bouwbesluit, afdeling 2.2 (Sterkte bij brand) beschrijft in artikel 2.10 de eisen aan de brandwerendheid van de constructie. De officiële omschrijving is 'brandwerendheid met betrekking tot bezwijken' of 'de tijdsduur waarbinnen een constructie niet mag bezwijken'. Het Bouwbesluit verwijst hiervoor overigens in artikel 2.4 (Bepalingsmethode) naar NEN-EN 1991-1-2, artikel 1.5.1.4, waarin de 'brandwerendheid' is gedefinieerd als het 'vermogen van een constructie, een gedeelte of een element daarvan om de vereiste functies te kunnen vervullen (dragende en/of scheidende functie) bij een bepaald belastingniveau, een bepaalde blootstelling aan brand en gedurende een bepaalde tijdsduur'. Hiermee wordt de mogelijkheid geboden ook andere brandkrommen dan de standaardbrandkromme (*afb. 1*) te hanteren. Dat is al zo in de huidige versie, waar de optie om 'natuurlijke' (of fysische) brandkrommen te gebruiken (*afb. 2*) vanuit de Nationale Bijlage 2019 normatief is aangestuurd (wanneer

### Status EN 1991-1-2 met natuurlijke branden

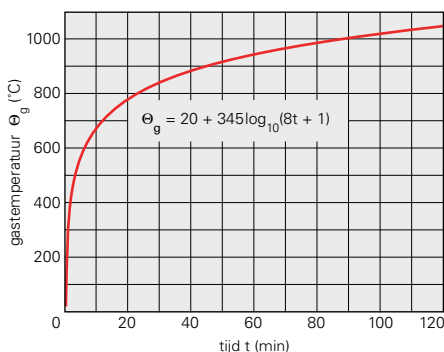
Sinds de ontwikkelingen van de Eurocodes onderkent ook Nederland het belang van brandwerende bouwconstructies in relatie tot het gedurende redelijke tijd veilig kunnen verlaten en doorzoeken zonder dat er gevaar is voor instorting. Welke tijd hiervoor redelijk is, wordt gesteld in het Bouwbesluit. Het is hierbij nog steeds gebruikelijk om de brandwerendheid tegen bezwijken in tijd uit te drukken gedurende welke een enkel constructie-onderdeel weerstand biedt aan de erop werkende belasting tijdens blootstelling aan de standaardbrandkromme (afb. 1). Deze tijd kan echter ook bepaald worden met Fire Safety Engineering waarbij de benodigde brandwerendheid wordt afgestemd op onder andere de benodigde vluchtijd, de afweging tussen een offensieve of defensieve binnen- of buiteninzet door de brandweer, alsmede de consequentie van het bezwijken op de omgeving. De benodigde brandwerendheid kan met de gewijzigde Eurocodes worden uitgewerkt. Hiertoe zijn tabellen, vereenvoudigde rekenmethodes

en geavanceerde rekenmethodes beschikbaar. Via Fire Safety Engineering met de Eurocodes wordt de benodigde brandwerendheid van constructies afgestemd op het werkelijke gedrag van bouwconstructies bij brand bij meer realistische brand-scenario's. Hiermee is in veel gevallen het vereiste veiligheidsniveau te behalen met minder brandwerende voorzieningen. Voor bouwconstructies die bijvoorbeeld worden blootgesteld aan een lokale brand kan gebruik gemaakt worden van de methode LOCAFI+ of voor membraanwerking in staalplaat-betonvloeren van de methode MACS+. In NTA 4614-3 worden methodes toegelicht voor constructies in gevolklasse 3 zoals voor hoge gebouwen. In deze voorbeelden kan het systeemgedrag van een constructie worden bepaald door gebruik te maken van natuurlijke brandmodellen uit Eurocode NEN-EN-1991-1-2 (afb. 2).

### Spiegelcommissies: hoe werkt het proces van totstandkoming en hoe kunt u meedoen?

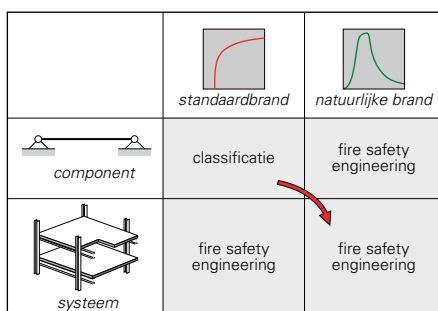
De Eurocodes brand vallen onder het 'mandaat 515' van de Europese Commissie aan CEN. CEN stelt voor elk Eurocode deel een werkgroep (WG) samen en een projectteam. Het projectteam heeft een aantal nauw gedefinieerde 'subtasks' en levert per subtask een tekstvoorstel voor het betreffende Eurocodelid en een 'background document'. Uiteindelijk levert het team een 'final draft' op aan de CEN WG, die vervolgens via verschillende commentaar rondes en met een stemmingsronde met de lidstaten tot een definitieve versie van de EN komt. In de verschillende WG's heeft Nederland via NEN zitting: CEN TC 250 SC 1 WG 4 (EN 1991-1-2), CEN TC 250 SC 3 WG 2 (EN 1993-1-2) en CEN TC 250 SC 4 WG 2 (EN 1994-1-2). Voor alle drie deze werkgroepen vormt Ralph Hamerlinck de Nederlandse vertegenwoordiging. Voor elk Eurocodelid is er ook een

Nederlandse spiegelcommissie bij NEN: NsC 35100101 TGB Basiseisen en belastingen (EN 1991-1-2), NsC 35100102 TGB Staalconstructies (EN 1993-1-2) en NsC 35100108 TGB Staal-betonconstructies (EN 1994-1-2). Deze NEN-spiegelcommissies zijn verantwoordelijk voor het opstellen van het Nederlandse commentaar op de verschillende drafts, voor het stemmen en voor het opstellen van de Nederlandse Nationale Bijlage. Via één van de leden van zo'n commissie kan commentaar worden ingebracht. BmS TC 3 doet dat van oudsher met enige regelmaat en heeft nu een aparte werkgroep opgericht waarin u als lezer van *Bouwen met Staal* ook kunt participeren. U kunt zich aanmelden via [ralph@bouwenmetstaal.nl](mailto:ralph@bouwenmetstaal.nl). Alle documenten zijn beschikbaar gesteld op de website van BmS TC3 <https://tc.bouwenmetstaal.nl/tc.lasso?id=14>. Hier worden ook alle updates geplaatst.



1. Standaardbrandkromme volgens NEN-EN 1991-1-2 en NEN 6069.

voldaan wordt aan de gestelde toepassingsvoorwaarden, zoals het in de beoordeling meenemen van het effect van verhinderde vervormingen, de afkoelingsfase en de verbindingen). Naast de thermische belastingen bij brand, legt NEN-EN 1991-1-2 ook de mechanische belastingen bij brand vast. Voor de verschillende berekeningsopties, zie afbeelding 3.

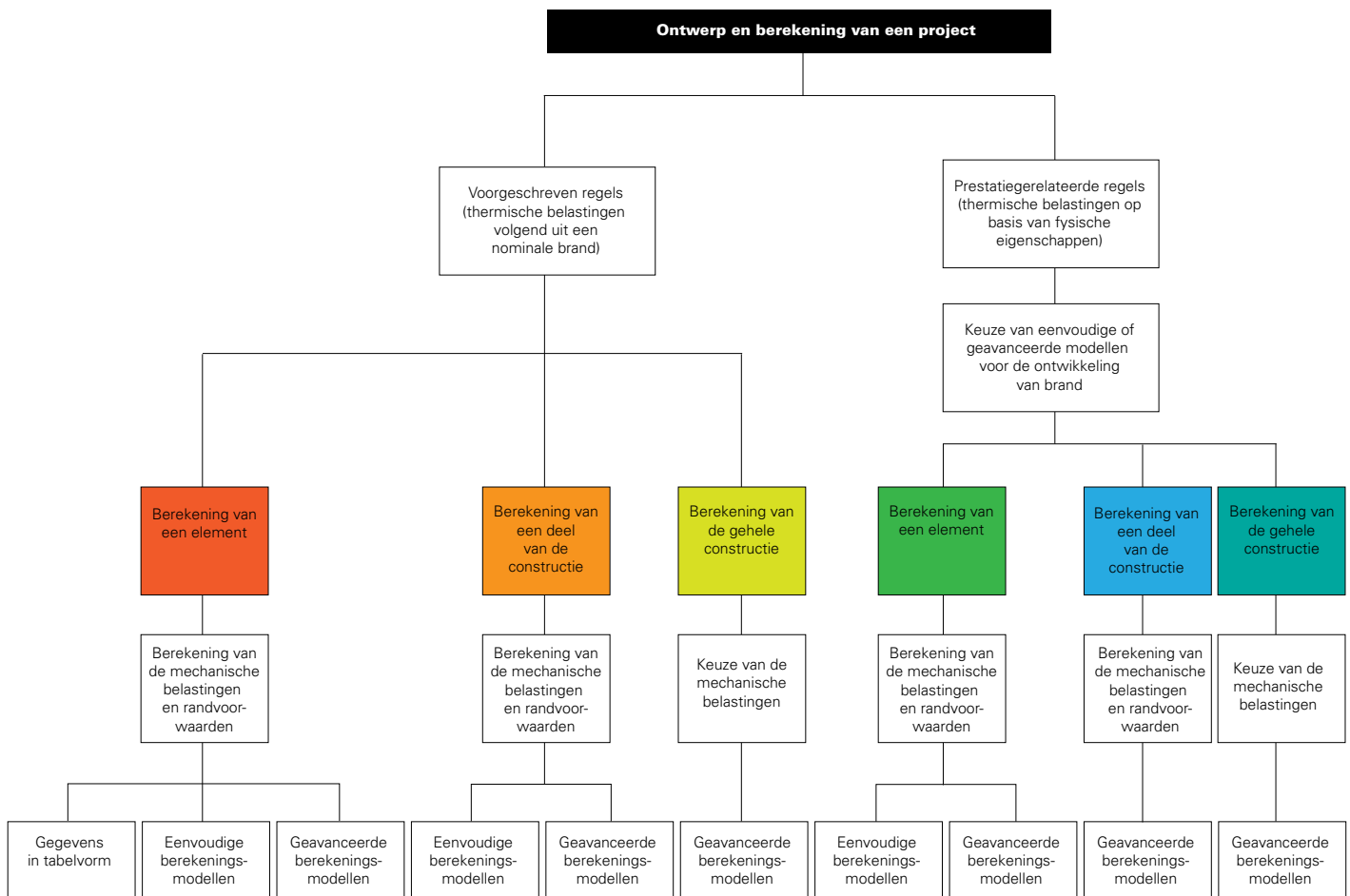


2. Toepassingsgebied van berekeningsmethoden volgens NEN-EN 1991-1-2.

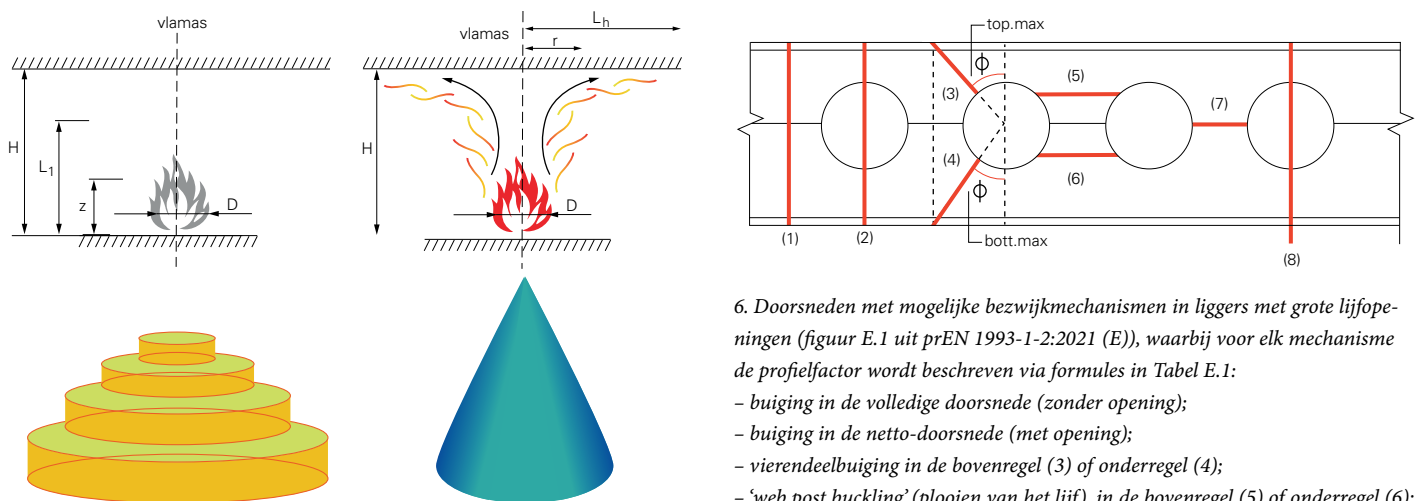
De belangrijkste onderdelen en wijzigingen zijn vastgelegd in 'background documents', die het projectteam samen met de final draft in 2018 heeft opgeleverd aan CEN. Sindsdien heeft CEN TC250 SC 1 WG 4 commentaren vanuit de verschillende landen verwerkt in de eindversie die zich in het proces van formele goedkeuring bevindt. In elk Eurocodelid zijn er NDP's (National

Determined Parameters), waar elk land in haar Nationale Bijlage invulling aan moet geven. Belangrijk in EN 1990 en 1991-1-2 zijn de combinatiefactoren  $Y_1$  en  $Y_2$  voor de mechanische belastingen, die moeten worden aangehouden in het buitengewone belastinggeval brand. Voor Nederland is in de huidige NB  $Y_2$  voorgeschreven (met een waarde afhankelijk van de gebruiksfunctie), met uitzondering van wind, waarvoor  $Y_1$  geldt (met waarde 0,2) wanneer het een constructie betreft waaraan een eis wordt gesteld in verband met voortschrijdend bezwijken (bij een eis voor de gevel in het kader van weerstand tegen brandoverslag geldt ook voor wind  $Y_2$  (met waarde 0)). Wanneer de nieuwe EN's verschijnen, zullen de NDP's opnieuw moeten worden vastgesteld in de betreffende NEN-spiegelcommissie (zie kader boven). Een aantal belangrijke wijzigingen in de nieuwe NEN-EN 1991-1-2.

- De hoofdttekst is niet fundamenteel gewijzigd.
- Annex A over parametrische brandkrommen, waar voor een beperkt toepassingsge-



### 3. Berekeningsprocedures volgens NEN-EN 1991-1-2.



4. Berekening lokale brand met vlammen die het plafond niet (links) of wel (rechts) raken en met een cilindrische of kegelvormige discretisatie.

6. Doorsneden met mogelijke bezwijkmechanismen in liggers met grote lijfopeningen (figuur E.1 uit prEN 1993-1-2:2021 (E)), waarbij voor elk mechanisme de profelfactor wordt beschreven via formules in Tabel E.1:

- buiging in de volledige doorsnede (zonder opening);
- buiging in de netto-doorsnede (met opening);
- vierendeelbuiging in de bovenregel (3) of onderregel (4);
- 'web post buckling' (plooiën van het lijf), in de bovenregel (5) of onderregel (6);
- langsschuifkracht in het lijf of de verbindende langslas tussen bovenste en onderste profielhelft (7);
- verticale dwarskracht in het lijf (8).

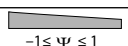



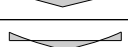

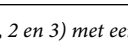
(6) In order to take into account the effects of moment distribution between the lateral restraints of the members, the reduction factor may be modified as follows:

$$\chi_{LT, ft, mod} = \frac{\chi_{LT, ft}}{f} \text{ but } \chi_{LT, ft, mod} \leq 1 \quad (7.18)$$

where  $f$  should be taken to depend on the loading type, according to the Formula:

$$f = 1 - 0,5(1 - k_c) \quad (7.19)$$

where  $k_c$  is a correction factor to Table 7.1.

Moment distribution	$k_c$
 -1 ≤ $\Psi$ ≤ 1	0.6 + 0.3 $\Psi$ + 0.15 $\Psi^2$ but $k_c \leq 1$
	0.91
	0.90
	0.91
	0.79
	0.73
	0.75

5. Kipberekening met aangepaste formules (voor klasse 1, 2 en 3) met een correctiefactor  $k_c$  waarmee het effect van de momentenverdeling tussen kipsteunen verdisconteerd wordt.

bied (maximaal 500 m<sup>2</sup> en 4 m hoge ruimte) een fysische brandkromme gekozen kan worden als functie van de vuurbelasting, de openingen (ventilatiehoeveelheid) en de thermisch eigenschappen van de scheidingsen. Hier heeft een belangrijke harmonisatieslag plaatsgevonden in overleg met de landen die hier het meeste gebruik van maken. Daar hoort Nederland niet bij, omdat de huidige annex A in Nederland niet van toepassing is verklaard. Echter door de harmonisatieslag in de nieuwe EN ontstaan er mogelijkheden om de status van annex A in de nieuwe Nationale Bijlage informatief (of mogelijk normatief) te maken. Daardoor worden de toepassingsmogelijkheden van deze praktische aanpak vergroot, bijvoorbeeld bij de beoordeling van ontwerpvarianten, gevoeligheidsanalyses of gelijkwaardige oplossingen.

- Annex B over buitenconstructies heeft enkele correcties ondergaan, waarbij de rekenmethodiek ongewijzigd is gebleven. De exacte rekenregels zijn dusdanig complex dat hiervoor brandveiligheidsspecialisten worden ingeschakeld. In de praktijk kan in sommige gevallen gebruikt worden gemaakt van de buitenbrandkromme zoals deze gedefinieerd in NEN-EN 1991-1-2. Deze geeft enerzijds echter niet altijd een veilige oplossing, bijvoorbeeld bij kolommen die op 0,3 m van een gevel staan, en anderzijds is deze vaak erg conservatief (bijvoorbeeld bij kolommen die op 1,8 m van een gevel staan). TC3 werkt aan een tool voor een eenvoudige casus van een galerijkolom.
- Annex C over lokale branden is het

onderdeel waar de grootste wijziging heeft plaatsgevonden. Hier is de belangrijkste input gekomen uit het 'Locafi'-project (afb. 4). De toepasbaarheid voor de praktijk is geschikt gemaakt via Ozone-software. De voordelen van lokale brandmodellen zijn al langer bekend bij bijvoorbeeld open parkeergarages, maar kunnen met de nieuwe annex C bijvoorbeeld ook worden benut bij de beoordeling van de dakconstructie van hoge hallen met een productiefunctie of van gevelkolommen in het halgedeelte met een expeditiefunctie.

- Annex D over geavanceerde brandmodellen (één-zone-, twee-zone- en veldmodellen) is niet gewijzigd.
- Annex E over het rekenen met natuurlijke of fysische brandmodellen heeft een harmonisatieslag ondergaan. De aanpak in de huidige Nationale Bijlagen van Nederland en Duitsland om de risicofactoren niet alleen op de vuurbelasting, maar ook op de brandvermogensdichtheid (RHR = *rate of heat release*) toe te passen, is niet overgenomen in de gewijzigde Eurocodes. De gewijzigde Eurocode biedt nu wel de mogelijkheid om per land (in de NDP's) een extra risicofactor voor de gevolklasse vast te stellen in hun Nationale Bijlagen. De aanbevolen standaardwaarden in de nieuwe Eurocodes zijn  $\delta_{q,3}$ , met als waarden 1,19 voor gevolklasse 3; 1,0 voor gevolklasse 2 en 0,83 voor gevolklasse 1. Deze risicofactor  $\delta_{q,3}$  komt naast de reeds bestaande factoren  $\delta_{q,1}$  (voor de grootte van het brandcompartiment),  $\delta_{q,2}$  (voor het risico van de gebruiksfunctie) en  $\delta_{q,n}$  (voor het in rekening brengen van risicobepende

maatregelen, zoals bijvoorbeeld sprinklers). Wat deze laatste factor  $\delta_{q,n}$  betreft, heeft in de CEN-werkgroep een discussie plaatsgevonden, omdat er een misvatting bestond over het mogelijk dubbel in rekening brengen van de bijdrage van de brandweer. In de nieuwe EN wordt dit duidelijker uitgelegd en worden de voorwaarden om de brandweer bij  $\delta_{q,n}$  in een reductiefactor te waarderen beter toegelicht: 0,78 of 0,84 als aanbevolen waarde voor een overheidsbrandweer die na 20, respectievelijk 30 minuten, na het brandalarm in staat is repressief in te grijpen. Ook dit is een NDP die per lidstaat moet worden gedefinieerd.

Tot slot zijn er in de tabellen van Annex E voor een aantal extra gebruiksfuncties getalswaarden gegeven (bijvoorbeeld voor een open kantoortuin (papierarm kantoor)). Met name voor deze annex E is het belangrijk om onze huidige Nationale Bijlage aan te passen op de aanstaande wijzigingen.

- Annex F over de equivalente tijdsduur (van blootstelling aan brand in vergelijking met de standaardbrand) is ongewijzigd.
- Annex G over zichtfactoren (waarmee stralingsoverdracht kan worden bepaald) is uitgebreid met onderdelen die gerelateerd zijn met de annexen B en C.

### Achtergronddocumenten

De achtergronddocumenten bij EN 1991-1-2 (zie <https://tc.bouwenmetstaal.nl/tc.las-so?id=14>), behorende bij de taken van het projectteam zijn.

- Doc 1-State-of-the-art on Localised Fires,
- Doc 2-Compilation of publications related to Localised fire,
- Doc 3-Review of Simple Models for Localised fire,
- Doc 4-First Draft of Localised Fire Method,
- Doc 5-Background of First Draft of Localised Fire Method,
- Doc 6-Validation of First Draft of Localised Fire Method,
- Doc 7-Design Examples of First Draft of Localised Fire Method,
- Doc 8-Localised Fire Tests on engulfed elements en Doc 9-Localised Fire Tests on elements situated outside the fire over locale branden.
- Doc 10-Annex E Current rules, national methods and parameters en Doc 11-Comparison of Annex E parameters in application in Member States over fysische brandmodellen.
- Doc 12- Background NDPs and Ease of Use over nationale parameters.

Voor de achtergronddocumenten van de 'Horizontal Group of Fire', die waakt over de consistentie over de diverse Eurocodes brand, zie eveneens <https://tc.bouwenmetstaal.nl/tc.lasso?id=14>.

## Eurocode staal

Met NEN-EN 1993-1-2 wordt de brandwerendheid van een staalconstructie ontworpen op basis van de thermische en mechanische belastingen uit NEN-EN 1991-1-2. Op basis van de thermische respons (door de opwarming van de constructie door blootstelling aan een brandkromme) wordt vervolgens de mechanische respons (sterkte, stabiliteit en eventueel thermo-mechanische vervormingen) van de opgewarmde constructie bepaald. Er dient hierbij bepaald te worden dat de mechanische respons van de bouwconstructies bij brand zodanig is dat een bouwwerk bij brand gedurende redelijke tijd kan worden verlaten en doorzocht, zonder dat er gevaar voor instorting is. Met NEN-EN 1993-1-2 kan de tijdsduur van bezwijken worden vastgesteld met tabellen, eenvoudige en geavanceerde rekenmodellen worden bepaald. Hierbij wordt in Nederland vaak gebruikt gemaakt van de (eenvoudige) kritieke staaltemperatuur-methode waarbij de tijdsduur wordt bepaald waarmee de constructie nog juist bestand is tegen de mechanische belastingen die erop werken tijdens blootstelling aan de standaardbrandkromme.

Een aantal belangrijke wijzigingen in de bepalingmethoden van de nieuwe NEN-EN 1993-1-2 zijn als volgt.

- § 4.1 Definieert wanneer vervormingscriteria een rol spelen bij de beoordeling van de brandwerendheid met betrekking tot bezwijken. Dit is niet het geval bij brandwerend beschermd staal waarvan de bekleding is getest volgens de 13381-serie of wanneer de brandwerende scheiding waar de staalconstructie op aansluit is getest, volgens de standaardbrand. Deze definitie kan interessant zijn voor constructies in brandscheidingen. Bijvoorbeeld een puiconstructie waarbij de glazen panelen bestand zijn tegen een bepaalde mate van vervorming. Voor deze pui kan de vervorming maatgevend worden voor de brandwerendheid van deze scheiding.
- § 5.2.1.1 Schrijft voor verzinkt staal een

aangepaste emissiefactor voor:  $\epsilon_m = 0,35$  (staaltemperatuur  $\leq 500$  °C) en  $\epsilon_m = 0,7$  (staaltemperatuur  $> 500$  °C), dit is de waarde voor onverzinkt staal over het gehele temperatuurbereik, zie [8] voor de achtergronden en de praktische effecten en toepassingsmogelijkheden.

- In § 5.2.3 is nu de verwijzing naar de brandwerende bescherming volgens de 13381-serie (deel -4 voor platen en spuitmortels en -8 voor brandwerende coating) geregeld (in Nederland reeds in de huidige NB).

- § 7.3 Geeft voor klasse 4-profielen reductiefactoren voor de effectieve breedte, waarmee de gereduceerde sterkte bij brand berekend kan worden. In aanvulling daarop geeft § 7.4.2 knikformules, § 7.4.5 kipformules en § 7.4.7 knik-/kipinteractieformules voor klasse 4-profielen. Hierin wordt de relatieve slankheid gedefinieerd als functie van de effectieve doorsnede (knik), respectievelijk effectieve weerstandsmoment (kip). Enkele staalprofielen, bijvoorbeeld grote kokers met een dunne wanddikte, die bij kamertemperatuur in klasse 3 vallen worden bij sterkte op brand gekwalificeerd in klasse 4. Juist voor deze situaties is het goed dat er nu rekenmethodes zijn omschreven waarmee ook deze profielen getoetst kunnen worden.

- § 7.4.3 Geeft aangepaste kipformules (voor klasse 1, 2 en 3), waarmee invulling wordt gegeven aan eerder door TC3 ingediend commentaar, dat de huidige kipformules te conservatief zijn. Hiertoe is een correctiefactor  $k_c$  ingevoerd (afb. 5). In gunstige gevallen kan deze reductie betekenen dat de brandwerende voorzieningen op bijvoorbeeld tussenregels met als functie kipsteun, gereduceerd kunnen worden of zelf komen te vervallen.

- Hoofdstuk 8 omvat de eisen waaraan geavanceerde rekenmodellen moeten voldoen (hetgeen in de huidige norm in § 4.3 is opgenomen).

- Annex A gaat over versteviging van constructiestaal ( $\sigma$ - $\epsilon$ -relaties) en is niet gewijzigd.
- Annex B gaat over staalconstructies buiten en bevat enkele verduidelijkingen (afbeeldingen) en kleine correcties, maar de rekenmethodiek is ongewijzigd.

- Roestvast staal wordt uitgebreid behandeld in Annex C: nieuwe mechanische materiaaleigenschappen en nieuwe eenvoudige

rekenmodellen (doorsnede-classificatie bij brand; trekstaven, knik-, kip- en knik-/kipinteractieformules).

- Annex D van de huidige EN bevat reeds de sterktereductie van bouten en lassen bij hoge temperatuur, maar is nu uitgebreid met § D.3 waarin de opwarming van de verbinding (die doorgaans trager is door de aanwezigheid van meer staal massa in de vorm van verbindingselementen (platen, bouten, moeren)) kan worden bepaald op basis van een lokale profielfactor. Dit naast de 'oude' methode, waarbij de maximale temperatuur van de aansluitende staven wordt aangehouden, hetgeen conservatief is en uiteraard nog steeds toegestaan. Deze wijziging biedt bijvoorbeeld mogelijkheden om prefab brandwerend gecoate spanten toe te passen, waarvan de bouten en moeren na montage niet gecoat hoeven te worden, omdat de verbinding door haar massa na 30 of soms zelfs 60 minuten voldoende koel blijft. De nieuwe § D.4 geeft regels voor gelaste buisverbindingen.

- Annex E is een volledig nieuw onderdeel voor stalen liggers met grote lijfopeningen (raatliggers of liggers met grote gaten ('cellular beams')), in aanvulling op de nieuwe NEN-EN 1993-1-13 voor de bepaling van de weerstand van deze liggers bij kamertemperatuur. Er wordt onderscheid gemaakt naar de diverse bezwijkmechanismen van onderdelen van de liggers, waaronder het doorgaans maatgevende 'web post buckling' (plooiën van het lijf, afb. 6). De opwarming per doorsnede kan worden bepaald met annex E.2 en de mechanische toets met annex E.3, waarbij gerefereerd wordt naar NEN-EN 1993-1-13, met aanpassingen als functie van de bij hoge temperatuur gereduceerde sterkte en stijfheid. *Afbeelding 7* geeft een voorbeeld van een geavanceerde systeemanalyse van liggers met grote lijfopeningen bij brand. Voor beschermde liggers wordt de bekledingsdikte bepaald per doorsnede naar gelang de kritieke staaltemperatuur voor die doorsnede (bezwijkmodus) en de profielfactor voor dat deel van de doorsnede (bovenflens, lijf en onderflens).

## Achtergronddocumenten

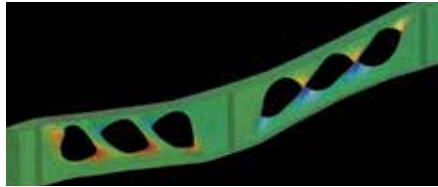
De achtergronddocumenten bij EN 1993-1-2 (<https://tc.bouwenmetstaal.nl/tc.lasso?id=14>), behorende bij de taken van het projectteam:

- SC3.T6\_FIN\_BGD\_EN1993-1-2\_LTB, over kip;
- SC3.T6\_FIN\_BGD\_EN1993-1-2\_Joints en SC3.T6\_FIN\_BGD\_EN1993-1-2\_Tubular Joints, over verbindingen;
- SC3.T6\_FIN\_BGD\_EN1993-1-2\_Cellular, over liggers met grote lijfopeningen;
- SC3.T6\_FIN\_BGD\_EN1993-1-2\_Stainless Steel 1 - Stress-strain properties, SC3.T6\_FIN\_BGD\_EN1993-1-2\_Stainless Steel 2 - Local buckling stainless steel elements, SC3.T6\_FIN\_BGD\_EN1993-1-2\_Stainless Steel 3 - Resistance of stainless steel compression members; SC3.T6\_FIN\_BGD\_EN1993-1-2\_Stainless Steel 4 - Resistance of stainless steel beams in fire, SC3.T6\_FIN\_BGD\_EN1993-1-2\_Stainless Steel 5 - Resistance of stainless steel beam-columns in fire en SC3.T6\_FIN\_BGD\_EN1993-1-2\_Stainless Steel 6 - Thermal expansion thermal conductivity and specific heat, over roestvast staal;
- SC3.T6\_FIN\_BGD\_EN1993-1-2\_Class 4, over klasse 4-profielen;
- SC3.T6\_FIN\_BGD\_EN1993-1-2\_Ductility, over maximale rek bij brand.

## Eurocode staal-beton

Ten tijde van het schrijven van dit artikel was de 2<sup>nd</sup> draft (de draft waarop lidstaten commentaar kunnen leveren via hun leden van de CEN Werkgroep) van EN 1994-1-2 nog niet beschikbaar. De 1<sup>st</sup> draft (april 2019) wel. Hiermee kan al een indruk worden verkregen van wat er gaat veranderen en welke onderwerpen toegevoegd worden. De contouren van een aantal belangrijke wijzigingen.

- ‘Membrane action’ (§ 4.8 (5)-(7)), waarbij de membraanwerking van staal-beton vloersystemen kunnen worden benut, een en ander naar aanleiding van de onderzoeken uitgevoerd in het kader van ‘MACS’, zie *pagina’s 48-50*.
- Lagere emissiefactor voor verzinkt staal (§ 5.2.1.2 (2)), naar analogie met § 5.2.1.1 van EN 1993-1-2.
- Gewijzigde thermische eigenschappen voor beton: in § 5.2.2.3 mag de warmtegeleidingscoëfficiënt  $\lambda_c$  niet meer vrij gekozen worden tussen twee limietcurven (zoals in de huidige EN het geval is), maar is deze voor het grootste temperatuurbereik voorgeschreven conform de huidige onderste limiet



7. Arup LS-Dyna-analyse liggers, in relatie tot verbindingen en aansluitende constructie.

(hetgeen resulteert in een tragere indringing van warmte in het beton).

- Annex D.2 geeft aanvullende rekenregels voor de langschuifweerstand bij eindoplegingen van staalplaat-betonvloeren.
- Nieuwe rekenregels voor betongevulde buizen (annex H), waarbij de opwarming van de doorsnede wordt beschreven in eenvoudige formules (waar dit in de huidige EN aan de gebruiker wordt overgelaten), in de vorm van equivalente temperaturen voor de buis, de wapening en de betonvulling, waarmee vervolgens de weerstand tegen knik wordt bepaald. Excentriciteiten worden hierbij meegenomen. Wat de effecten van deze nieuwe rekenregels zijn is, nog niet bekend, maar dit zal duidelijk worden, zodra er een nieuwe versie van de Potfire-software beschikbaar komt.
- Nog niet opgenomen, maar ingepland voor de 2<sup>nd</sup> draft zijn nieuwe Annexen voor staal-beton liggers met grote lijfopeningen (raatliggers of liggers met grote gaten, naar analogie met staal (EN 1993-1-2), zie *afbeelding 7*, en geïntegreerde liggers.

## Achtergronddocument

Van de achtergronddocumenten bij EN 1994-1-2, behorende bij de taken van het projectteam, is er nog slechts één beschikbaar: - SC4.T5\_FIN\_DOC\_Shallow Floor Construction Rules for EN 1994-1-2.

## Conclusie

Met de gewijzigde Eurocodes ‘Brand’ heeft de adviespraktijk instrumenten om bouwconstructies bij brand zodanig te ontwerpen en toetsen dat de bouwconstructie voldoende lange tijd bestand is tegen brand. Hierbij worden de nieuwe onderzoeken en de verworven kennis en praktijkervaring in de afgelopen 20 jaar geïmplementeerd in de Eurocodes. Het proces van wijziging van de

Eurocodes is in volle gang en afhankelijk van het Eurocode-deel is de tijd rijp om kennis te nemen van deze aanstaande wijzigingen en/of eventueel nog invloed uit te oefenen door Nederlands commentaar in te dienen (EN 1994-1-2 over staal-beton). Er is nu mogelijkheid om te beoordelen wat de wijzigingen betekenen, of deze eventueel al in het kader van gelijkwaardigheid toegepast kunnen worden ((EN 1991-1-2 over belastingen en EN 1993-1-2 over staal) en het proces van formele goedkeuring en eventuele op last van lidstaten voorgestelde last minute-wijzigingen te monitoren. Geïnteresseerden om in een werkgroep de wijzigingen in de Eurocodes brand te beoordelen en waar mogelijk van commentaar te voorzien, kunnen zich melden bij Bouwen met Staal. •

## Literatuur

1. A.F. Hamerlinck, *Brand, Brandveiligheid en berekening van de brandwerendheid van staalconstructies voor gebouwen volgens Eurocode 3*, Bouwen met Staal, Zoetermeer 2010.
2. *NEN-EN 1991-1-2* (Eurocode 1: Belastingen op constructies - Deel 1-2: Algemene belastingen - Belasting bij brand), 2019 + C3, 2019 + NB, 2019.
3. *NEN-EN 1993-1-2* (Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 1-2: Algemene regels - Ontwerp en berekening van constructies bij brand), 2016 + C2, 2016 + NB, 2015.
4. *NEN-EN 1994-1-2* (Eurocode 4: Ontwerp en berekening van staal-betonconstructies - Deel 1-2: Algemene regels - Ontwerp en berekening van constructies bij brand), 2007 + C1/A1, 2014 + NB, 2007.
5. *NTA 4614-3* (Convenant hoogbouw - Deel 3: Constructieve veiligheid), 2012.
6. *Locafi: ‘Juridische context’, Achtergronddocument ‘Ontwerp van kolommen blootgesteld aan lokale branden’* en powerpoints: <https://research.bauforumstahl.de/nl/fire-safety-1/locafi-temperature-assessment-of-a-vertical-member-subjected-to-localised-fire-10/>
7. *Ozone*, [https://sections.arcelormittal.com/design\\_aid/design\\_software/EN](https://sections.arcelormittal.com/design_aid/design_software/EN).
8. A.F. Hamerlinck en J.-P. Vèrrier, ‘Verzinkt staal warmte trager op’, *Bouwen met Staal* 271 (oktober 2019), p. 54-57.
9. *MACS*. Brandgedrag van staal-beton vloersystemen: <https://research.bauforumstahl.de/nl/fire-safety-1/brandgedrag-van-staal-beton-vloersystemen-disseminatie/>.