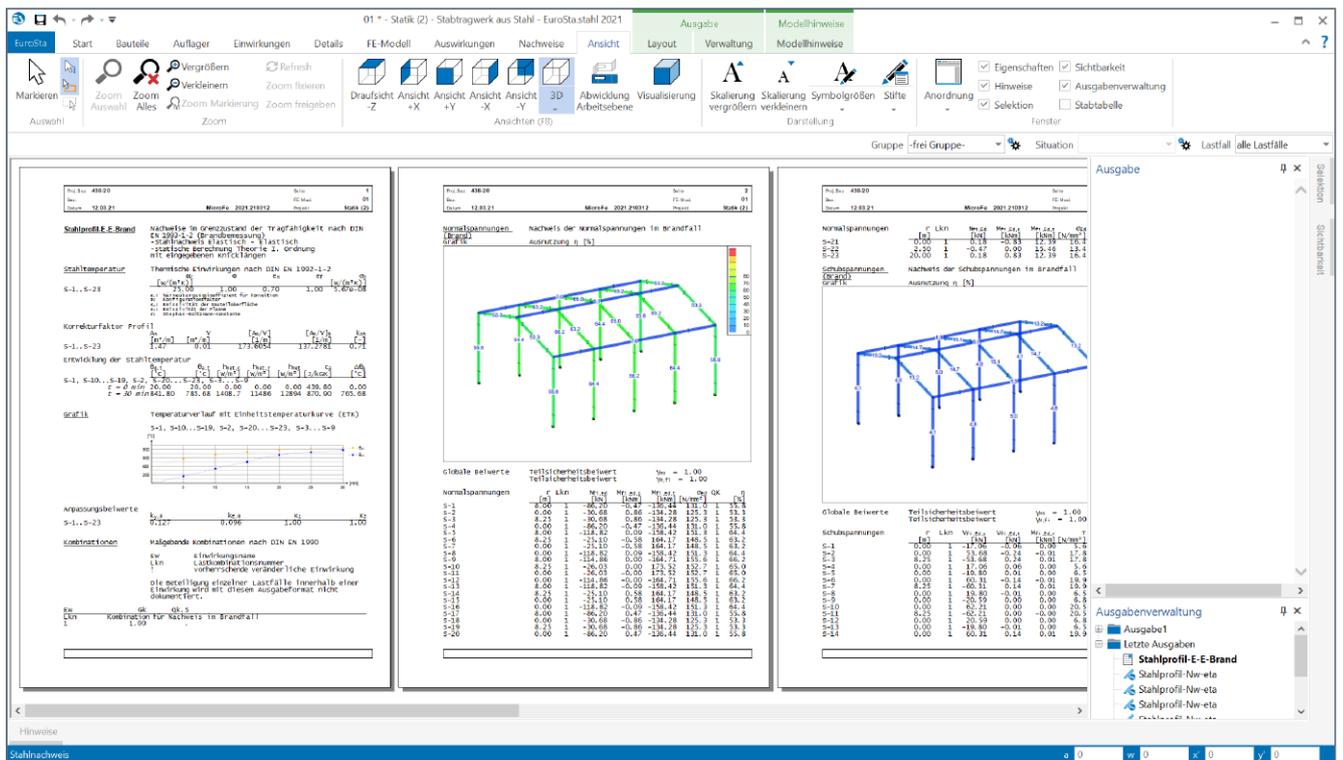


Dipl.-Ing. David Hübel

Brandnachweise im Stahlbau

Leistungsbeschreibung des EuroSta.stahl-Moduls M740.de Stahl-Nachweise im Brandfall

Einen wichtigen Teil der Tragwerksbemessung stellt der Brandschutz dar. Um die Tragfähigkeit von Stahlbauteilen im Brandfall für eine bestimmte Zeit sicher zu stellen, kann es notwendig sein, Stahlprofile brandschutztechnisch zu verstärken. Mit dem Modul M740.de können brandschutztechnisch ungeschützte und mit Brandschutzmaterialien geschützte sowie feuerverzinkte Stahlprofile in EuroSta.stahl hinsichtlich Ihrer Tragfähigkeit unter Brandbeanspruchung nachgewiesen werden.



Allgemein

Stahl ist ein anorganischer Baustoff und wird als nichtbrennbar eingestuft. Allerdings verlieren Bauteile aus Stahl bei extremer Erwärmung ihre Tragfähigkeit. Bei einem Vollbrand wird eine tragfähigkeitsabmindernde Temperatur bereits nach wenigen Minuten erreicht.

Mit dem EuroSta.stahl Modul M740.de kann die Tragfähigkeit eines Stahlstabsystems in einem gesonderten „Brandmodell“ nachgewiesen werden. Das „Brandmodell“ berücksichtigt die Tragfähigkeits-Abminderungen infolge der Brand-Temperatur. Die Berechnung für das „Brandmodell“ wird mit der FE-Berechnung zur Kaltbemessung ausgelöst.

Eigenschaften

In den Eigenschaften des Stahlprofils sind die Parameter für das Stahlprofil zu definieren. Im Register „Nachweise“ kann der Brandnachweis aktiviert und die Parameter für den Brandnachweis definiert werden.

Neben der Branddauer bzw. der Feuerwiderstandsdauer und des Brandfalls kann der Brandschutz des Stahlprofils definiert werden. Hierbei stehen feuerverzinkte Stahlprofile, unverzinkte Stahlprofile und mit Brandschutzverkleidung geschützte Stahlprofile zur Auswahl. Darüber hinaus können für den Nachweis erforderliche Anpassungs- und Konfigurationsfaktoren vorgegeben werden.

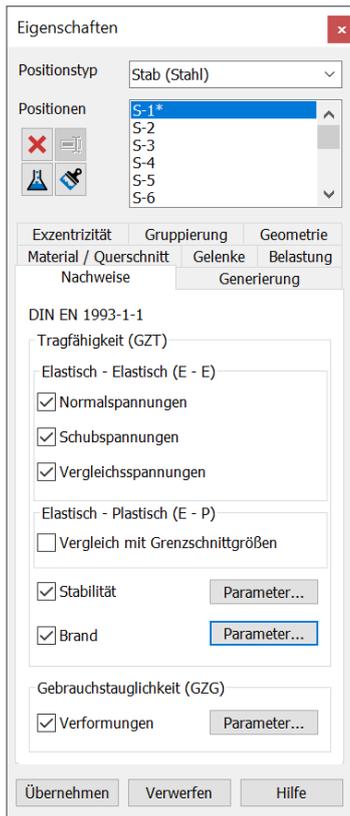


Bild 1. Eigenschaften Stahlprofil

Bei geschützten Stahlprofilen ist neben dem Profil das Brandschutzmaterial zu wählen. Hierbei stehen die in Tabelle 1 aufgeführten Putze und Platten auf Zement- bzw. Gips-Basis analog zum BauStatik Modul S855.de zur Verfügung, welche profilfolgend oder als Kastenverkleidung angeordnet werden können.

Alle in EuroSta zur Verfügung stehenden Stahlprofile können mit oder ohne Brandschutzmaßnahmen mit dem EuroSta.stahl Modul M740.de brandschutztechnisch nachgewiesen werden. Die unterschiedlichen Brandschutzmaterialien sind mit Ihren brandschutztechnischen Materialeigenschaften in den Stammdaten hinterlegt.

Nachweise

Die Bemessung des gewählten Querschnitts erfolgt im M740.de auf Grundlage des Bemessungsverfahrens auf Tragfähigkeitsebene und unter Beachtung des vorgegebenen Brandfalls. Die Vorgabe des Brandfalls, also der thermischen Belastung, erfolgt durch die Vorgabe der Branddauer bzw. der Feuerwiderstandsdauer und der brandbeanspruchten Seiten.

Neben dem Bemessungsverfahren ist die Entwicklung der Stahltemperatur maßgebend für den brandschutztechnischen Nachweis. Die Stahltemperatur wird unter Beachtung des Positionstyps, des Profils sowie des Brandfalls bestimmt.

Entwicklung der Stahltemperatur

Grundlage für die Beurteilung der Tragfähigkeit brandbeanspruchter Stahlbauteile sind die Hochtemperatureigenschaften des Werkstoffes.

Ein wesentlicher Faktor stellt der Temperaturunterschied zwischen der Temperatur der umgebenden Luft und der Bauteiltemperatur da. Die der Bemessung zugrunde gelegten Lufttemperaturen werden in DIN EN 1991-1-2 in Temperaturzeitkurven definiert.

Im Modul M740.de wird die Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) als maßgebende Temperaturzeitkurve berücksichtigt. Die Einheitstemperaturzeitkurve gibt die Thermische Belastung vor. Unter Beachtung der Einheitstemperaturzeitkurve wird die Temperaturentwicklung der Stahltemperatur unter Brandbeanspruchung ermittelt. Auf Grundlage dieser Temperaturentwicklung kann die Stahltemperatur zum Zeitpunkt ermittelt werden.

Ungeschützte Stahlkonstruktionen

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} \frac{A_m}{c_a \rho_a} \dot{h}_{net} \Delta t$$

mit

k_{sh}	Korrekturfaktor für den Abschattungseffekt
A_m	die dem Brand ausgesetzte Oberfläche des Bauteils [m ² /m]
V	Volumen des Bauteils [m ³ /m]
c_a	spezifische Wärmekapazität Stahl
ρ_a	Rohdichte des Stahls
\dot{h}_{net}	flächenbezogener Bemessungswert des Nettowärmestroms

Der Korrekturfaktor für den Abschattungseffekt k_{sh} wird in Abhängigkeit des gewählten Profils bestimmt und ergibt sich aus dem Verhältnis des Profilmassens $[A_m/V]$ des ungeschützten Stahlprofils zum Profilmassens $[A_m/V]_b$ eines das Profil umschließenden Kastens.

Der flächenbezogene Bemessungswert des Nettowärmestroms \dot{h}_{net} wird nach DIN EN 1991-1-2 ermittelt:

Bemessungswert des Nettowärmestroms

$$\dot{h}_{net,t} = \dot{h}_{net,c,t} + \dot{h}_{net,r,t}$$

mit

$$\dot{h}_{net,c,t} = \alpha_c \cdot (\theta_{g,t} - \theta_{a,t})$$

$$\dot{h}_{net,r,t} = \Phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma \cdot [(\theta_{g,t} + 273)^4 - (\theta_{a,t} + 273)^4]$$

Φ	Konfigurationsfaktor für Abschattungseffekte
ε_m	Emissivität der Bauteiloberfläche
ε_f	Emissivität der Flamme = 1,0
σ	Stephan-Boltzmann-Konstante
$\theta_{a,t}$	die Stahltemperatur zum Zeitpunkt t
$\theta_{g,t}$	die Temperatur der umgebenden Luft zum Zeitpunkt t

Bei einer ungeschützten Stahlkonstruktion kann der Konfigurationsfaktor Φ für mögliche Abschattungseffekte sowie die Emissivität der Bauteiloberfläche manuell vorgegeben werden. Wird kein Konfigurationsfaktor vorgegeben, wird dieser nach DIN EN 1991-1-2 vereinfacht mit $\Phi = 1,0$ angesetzt.

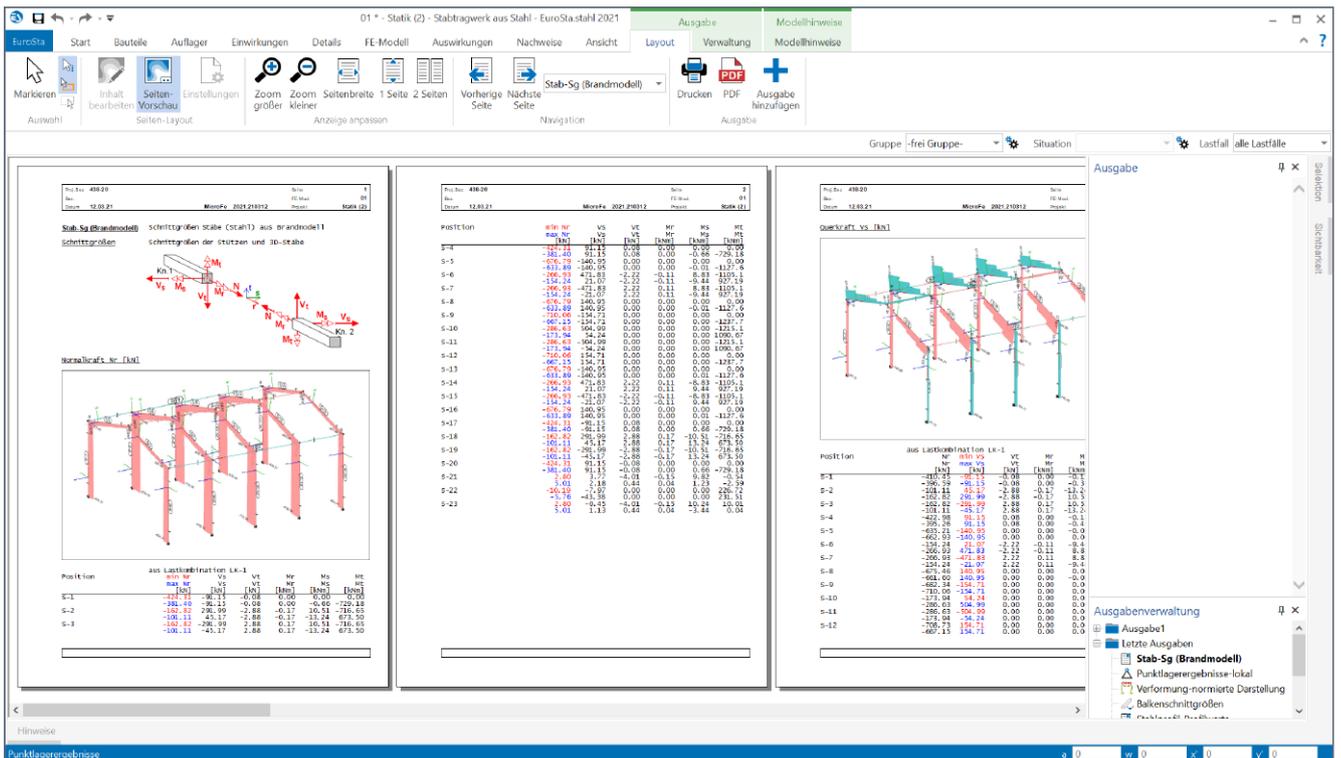


Bild 2. Tabellarische Ausgabe der Schnittgrößen im „Brandmodell“

Die Emissivität der Bauteiloberfläche wird bei ungeschützten Profilen automatisch nach Tabelle 2 angesetzt. Wahlweise kann die Emissivität der Bauteiloberfläche auch manuell vorgegeben werden. Bei feuerverzinkten Stahlprofilen wird die Emissivität unter Berücksichtigung der Oberflächentemperatur nach Tabelle 2 angesetzt.

Stahlsorte	$\epsilon_m (\leq 500^\circ\text{C})$	$\epsilon_m (> 500^\circ\text{C})$
Baustahl		0,7
Feuerverzinkter Baustahl ¹⁾	0,35	0,70

¹⁾ Die Emissivität von feuerverzinktem Baustahl (gemäß DIN EN ISO 1461 und einer Stahlzusammensetzung gemäß Kategorie A und B nach DIN EN ISO 14713-2) ist bei Temperaturen bis 500 °C um 50% geringer.

Tabelle 1. Emissivität der Bauteiloberfläche

Bemessungsverfahren auf Tragfähigkeitsebene

Beim Nachweis auf Tragfähigkeitsebene wird im Brandfall der Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit geführt.

$$E_{fi,d} \leq R_{fi,d,t}$$

Danach ist für die geforderte Feuerwiderstandsdauer t nachzuweisen, dass die Einwirkungen im Brandfall $E_{fi,d}$ nach DIN EN 1991-2 kleiner sind, als der Bauteilwiderstand $R_{fi,d,t}$ nach einer vorzugebenden Feuerwiderstandsdauer t .

Schnittgrößenermittlung

Beim Nachweis auf Tragfähigkeitsebene ist die Verringerung der Streckgrenze und das Elastizitätsmodul infolge der Temperaturerhöhung zu berücksichtigen. Beim Brandschutznachweis in EuroSta erfolgt die Ermittlung der Bemessungsschnittgrößen in einem separaten FE-System, dem „Brandmodell“, unter Beachtung der reduzierten Steifigkeiten gemäß Tabelle 2.

Die Abminderungsfaktoren werden unter Beachtung der thermischen Belastung, also der Stahltemperatur zum Zeitpunkt t bestimmt. Die Ermittlung der Schnittgrößen erfolgt hierbei unter Beachtung der Brandkombinationen gemäß DIN EN 1990. Die zur Bemessung im Brandfall angesetzten Schnittgrößen können in EuroSta separat tabellarisch ausgegeben werden.

Stahltemperatur θ_a	Abminderungsfaktoren bei Temperatur θ_a relativ zu dem Wert f_y oder E_a bei 20°C		
	Abminderungsfaktor (relativ zu f_y) für die effektive Fließgrenze $k_{y,\theta} = f_{y,\theta} / f_y$	Abminderungsfaktor (relativ zu f_y) für die Proportionalitätsgrenze $k_{p,\theta} = f_{p,\theta} / f_y$	Abminderungsfaktor (relativ zu E_a) für die Steigung im elastischen Bereich $k_{E,\theta} = E_{a,\theta} / E_a$
20°C	1,000	1,000	1,000
100°C	1,000	1,000	1,000
200°C	1,000	0,807	0,900
300°C	1,000	0,613	0,800
400°C	1,000	0,420	0,700
500°C	0,780	0,360	0,600
600°C	0,470	0,180	0,310
700°C	0,230	0,075	0,130
800°C	0,110	0,050	0,090
900°C	0,060	0,0375	0,0675
1.000°C	0,040	0,0250	0,0450
1.100°C	0,020	0,0125	0,0225
1.200°C	0,000	0,0000	0,0000

ANMERKUNG: Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.

Tabelle 2. Abminderungsfaktoren von Stahl unter erhöhten Temperaturen, Bild 3.2 DIN EN 1993-1-2 [1]

Tragfähigkeit unter Brandbeanspruchung

Die Normalkrafttragfähigkeit bei Brandeinwirkung wird analog zur Normalkrafttragfähigkeit ohne Brandeinwirkung ermittelt.

Tragfähigkeit Zugglieder

$$N_{fi,\theta,Rd} = k_{y,\theta} \cdot N_{Rd} \left[\frac{\gamma_{M,0}}{\gamma_{M,fi}} \right]$$

mit

$k_{y,\theta}$ der Abminderungsfaktor der Streckgrenze von Stahl bei der Temperatur θ_a zum Zeitpunkt t
 N_{Rd} der Bemessungswert der Tragfähigkeit des Bruttoquerschnitts mit Normaltemperatur nach EN 1993-1-1

Wenn Druckkräfte vorliegen, kann Biegeknicken berücksichtigt werden. Hierzu sind die Ersatzstablängen der Stahlprofile erforderlich. Die Knicklängen werden in EuroSta gemäß den Systemvorgaben ermittelt.

Tragfähigkeit Druckglieder

$$N_{fi,\theta,Rd} = \chi_{fi} \cdot k_{y,\theta} \cdot N_{Rd} \left[\frac{\gamma_{M,0}}{\gamma_{M,fi}} \right]$$

mit

χ_{fi} Abminderungsfaktor für das Biegeknicken unter Brandbeanspruchung

Querkrafttragfähigkeit

$$V_{Rd} = k_{y,\theta} \cdot \left[\frac{\gamma_{M,0}}{\gamma_{M,fi}} \right] \cdot \frac{V_{Rd}}{\kappa_1 \cdot \kappa_2}$$

mit

V_{Rd} der Bemessungswert der Querkraftbeanspruchbarkeit des Bruttoquerschnittes bei Normaltemperatur nach [3].

Der Bemessungswert des Bauteilwiderstands $M_{fi,\theta,Rd}$ wird unter Berücksichtigung einer ungleichförmigen Temperaturbeanspruchung zum Zeitpunkt t nach folgender Gleichung berechnet:

Momententragfähigkeit

$$M_{fi,\theta,Rd} = k_{y,\theta} \cdot \left[\frac{\gamma_{M,0}}{\gamma_{M,fi}} \right] \cdot \frac{M_{Rd}}{\kappa_1 \cdot \kappa_2}$$

mit

M_{Rd} plastische Momententragfähigkeit des Bruttoquerschnitts bei Normaltemperatur
 κ_1, κ_2 Anpassungsfaktor für ungleichmäßige Temperaturverteilung

Die Größe des Anpassungsfaktors κ_1 für eine ungleichmäßige Temperaturverteilung über den Querschnitt sowie der Anpassungsfaktor κ_2 für eine ungleichmäßige Temperaturverteilung entlang des Trägers kann wie folgt angesetzt werden.

Der Anpassungsfaktor κ_1 kann wahlweise automatisch vom Programm oder manuell vorgegeben werden. Bei der auto-

matischen Ermittlung des Anpassungsfaktors wird je nach Wahl des Brandfalls bzw. der brandbeanspruchten Seite der Anpassungsfaktor κ_1 vom Programm automatisch ermittelt.

Bild 3. Eingabe der Parameter für den Brandnachweis

Die Anpassungsfaktoren κ_1 und κ_2 sowie der Konfigurationsfaktor Φ können in den Parametern zum Brandnachweis definiert werden. Standardmäßig wird der Konfigurationsfaktor gemäß DIN EN 1993-1-2 mit $\Phi = 1,0$ angesetzt.

Stabilität unter Brandbeanspruchung

Stabilitätsgefährdete Bauteile werden gemäß DIN EN 1993-1-2, Abs. 4.2.3.5 nachgewiesen. Die Anpassungsfaktoren β_M werden hierbei gemäß den Vorgaben zum Stabilitätsnachweis in den Eigenschaften des Stahlprofils angesetzt.

Ausgabeoptionen

Grafisch interaktive Ausgabe

Für einen schnellen Überblick über alle Nachweispositionen bietet sich die grafisch interaktive Ausgabe von EuroSt an. Dort können alle relevanten Nachweisparameter dargestellt werden.

Für die grafische Ausgabe stehen alle im „Kaltnachweis“ auswählbaren Nachweisparameter analog im „Brandnachweis“ bzw. im Brandmodell zur Verfügung. Die Ausgabe der Nachweise der Stahlprofile kann im Register „Nachweise“ aufgerufen werden.

Hervorzuheben ist hierbei der Ausnutzungsgrad, der als Wertedarstellung vorliegt. Besonders mit der farbigen Wertedarstellung lassen sich auf einen Blick schnell die kritischen Stahlprofile sowie die kritischen Stellen im Stahlträger erfassen. Darüber hinaus können die Bemessungsschnittgrößen für alle Profile ausgegeben werden.

Tabellarische Ausgabe

Neben der grafischen Ausgabe steht wie gewohnt in EuroSta eine tabellarische Ausgabe der Nachweise zur Verfügung. Die prüffähige tabellarische Ausgabe umfasst folgende Informationen:

- Kombinationsvorschriften der maßgebenden Kombinationen
- Randbedingungen der Berechnung
- Nachweise mit Abminderungsbeiwerten, Lasten, Widerständen, Ausnutzung
- Dokumentation der Entwicklung der Stahltemperatur mit Anpassungsbeiwerten

Die Ausgaben sind so aufgebaut, dass einerseits während der Bearbeitung immer ein schneller Überblick gewährleistet ist und andererseits der vollständige Nachweis mit Dokumentation aller Annahmen tabellarisch ausgegeben wird.

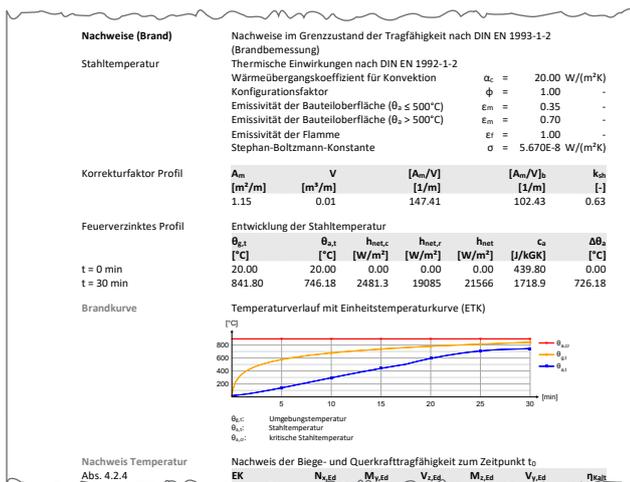


Bild 4. Ausgabe der Nachweisparameter bei Brand und Entwicklung der Stahltemperatur

Fazit

Aufgrund der hohen Bedeutung für die Standsicherheit stellt der Brandschutz einen wichtigen Teil der Tragwerksbemessung dar. Der brandschutztechnische Nachweis auf Grundlage der DIN EN 1993-1-2 regelt den Brandschutznachweis für tragende Stahlbauteile.

In EuroSta erfolgt der Nachweis der Stahlprofile unter Beachtung der aufgrund der Brand-Temperatur abgeminderten Tragfähigkeit resultierenden Schnittgrößen übersichtlich für gesamte Stahlkonstruktionen.

Dipl.-Ing. David Hübel
 mb AEC Software GmbH
 mb-news@mbaec.de

Literatur

- [1] DIN EN 1993-1-2: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall; Deutsche Fassung EN 1993-1-2:2005 + AC:2009.
- [2] DIN EN 1993-1-2/NA: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall.
- [3] DIN EN 1991-1-2: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen – Brandeinwirkungen auf Tragwerke; Deutsche Fassung EN 1991-1-2:2002 + AC:2009.
- [4] DIN EN 1991-1-2/NA: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen – Brandeinwirkungen auf Tragwerke.
- [5] Stahlbau-Kalender 2014: Eurocode 3 - Grundnorm, Außergewöhnliche Einwirkungen Hrsg.: Ulrike Kuhlmann 2014, Ernst & Sohn.
- [6] Brandschutztechnische Bemessung tragender Stahlbauteile, mb-news Nr. 4/2020, Juli 2020.

Preise und Angebote

M740.de Stahl-Nachweise im Brandfall – EC 3, DIN EN 1993-1-2
 Leistungsbeschreibung siehe <https://www.mbaec.de/modul/M740de>

EuroSta.stahl compact
 beinhaltet: M700.de

EuroSta.stahl classic
 beinhaltet: M700.de, M701, M720

EuroSta.stahl comfort
 beinhaltet: M700.de, M701, M710, M711, M714, M715, M719, M720

EuroSta.stahl Modellanalyse
 beinhaltet: M710, M711, M714, M715, M719

Es gelten unsere Allgemeinen Geschäftsbedingungen. Änderungen und Irrtümer vorbehalten. Alle Preise zzgl. Versandkosten und MwSt. – Hardlock für Einzelplatzlizenz je Arbeitsplatz erforderlich (95,- EUR). Folgelizenz-/Netzwerkbedingungen auf Anfrage. – Stand: März 2021
 Unterstütztes Betriebssystem: Windows 10 (64)

Preisliste siehe www.mbaec.de