



D I F F I S E K

TEIL 5a **ANWENDUNGSBEISPIELE**

Wien, 2. Oktober 2008

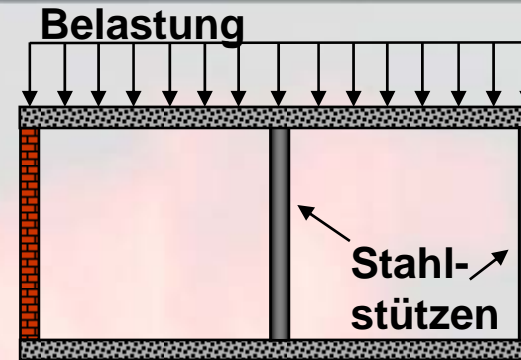
Feuerwiderstand – Folge von Ereignissen



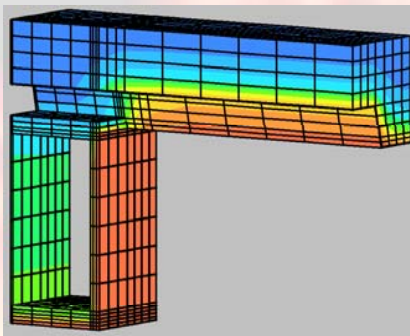
1: Entzündung



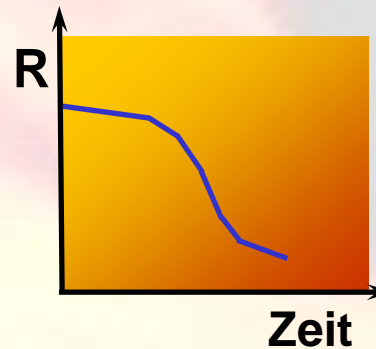
2: Thermische Einwirkungen



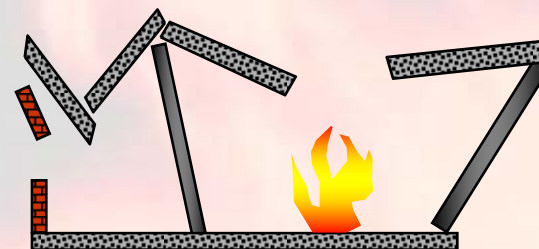
3: Mechanische Einwirkungen



4: Thermisches Verhalten



5: Mechanisches Verhalten



6: Mögliches Versagen

Verwendete Normen

Bemessung im “Kaltfall”

- EN 1990 Grundlagen der Tragwerksplanung
- EN 1993-1-1 Bemessung von Stahltragwerken
- EN 1994-1-1 Bemessung von Verbundtragwerken

Bemessung im Brandfall

- EN 1990 Grundlagen der Tragwerksplanung
- EN 1991-1-2 Einwirkungen im Brandfall
- EN 1993-1-2 Bemessung von Stahltragwerken im Brandfall
- EN 1994-1-2 Bemessung von Verbundtragwerken im Brandfall

Rechenbeispiele – Übersicht

		Anzahl an Beispielen
➤ EN 1991:	Einwirkungen auf Tragwerke	2
Teil 1-2:	Allgemeine Einwirkungen – Brandeinwirkungen auf Tragwerke	
➤ EN 1993:	Bemessung und Konstruktion von Stahltragwerken	3
Teil 1-2:	Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung im Brandfall	
➤ EN 1994:	Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken	4
Teil 1-2:	Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung im Brandfall	

Rechenbeispiele – Übersicht

- Einwirkungen
 - ✧ **Vollbrand**
 - ✧ Lokaler Brand

- Stahl
 - ✧ Stahlstütze
 - ✧ Stahlträger (N + M)
 - ✧ Stahlträger (Hohlkastenprofil)

- Verbund
 - ✧ Verbunddecke
 - ✧ Verbundträger
 - ✧ Verbundträger (kammerbetoniert)
 - ✧ Verbundstütze

Vollbrand

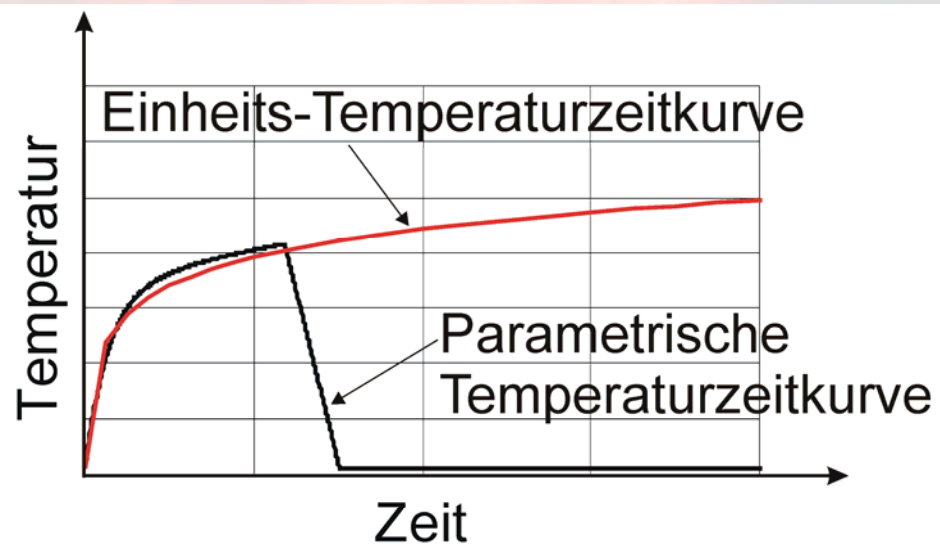
Aufgabenstellung

Ermittlung der Gastemperatur eines Vollbrandes.

⇒ Naturbrandmodell für Vollbrände

⇒ Parametrische Temperaturzeitkurve

$$\theta_g = f(q_{f,d}, O, b)$$



EN 1991-1-2, Anhang A

Vollbrand

Parameter



Gebäude: Cardington Versuchsgebäude
Typ: Büro

Brandlast-
dichte: $q_{f,d} = 483 \text{ MJ/m}^2$

Grundfläche: $A_f = 135 \text{ m}^2$
Höhe: $H = 4,0 \text{ m}$

mittlere Fensterhöhe: $h_{eq} = 1,8 \text{ m}$

Gesamtfläche
der vertikalen Öffnungen: $A_v = 27 \text{ m}^2$
Vertikaler Öffnungsfaktor: $O = 0,076 \text{ m}^{1/2}$



Material der
Umschließungsbauteile: Leichtbeton, $b = 1263,3 \text{ J}/(\text{m}^2\text{s}^{1/2}\text{K})$

Vollbrand

Brandlast- oder ventilationsgesteuert?

$$0,2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} / O = 0,363 \text{ h}$$

$$0,363 \text{ h} < t_{\text{lim}} = 0,333 \text{ h} \quad \text{brandlastgesteuert}$$

$$0,363 \text{ h} > t_{\text{lim}} = 0,333 \text{ h} \quad \text{ventilationsgesteuert}$$

mit:

$$q_{t,d} = q_{f,d} \cdot A_f / A_t$$

Vollbrand

Erwärmungsphase

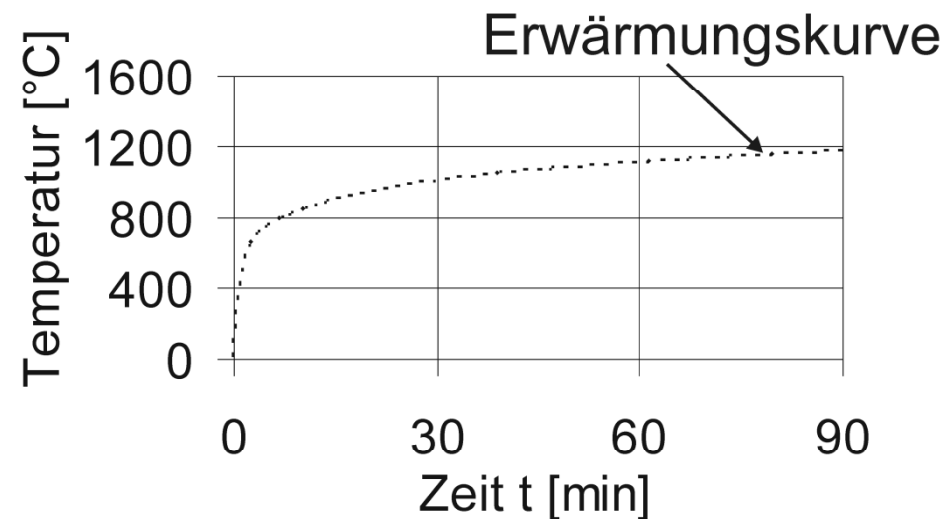
Berechnung der Temperaturzeitkurve während der Erwärmungsphase:

$$\theta_g = 20 + 1325 \cdot (1 - 0,324 \cdot e^{-0,2 \cdot t^*} - 0,204 \cdot e^{-1,7 \cdot t^*} - 0,472 \cdot e^{-19 \cdot t^*})$$

mit:

$$t^* = t \cdot \Gamma$$

$$\Gamma = \frac{(0/b)^2}{(0,04/1160)^2}$$



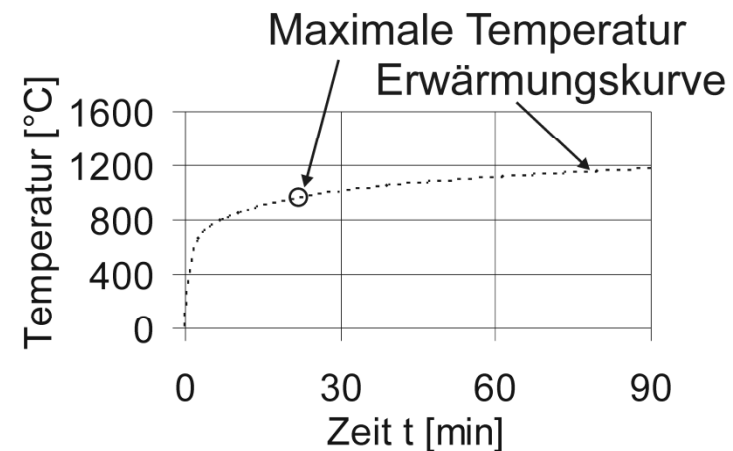
Vollbrand

Maximale Temperatur

Berechnung der maximalen Temperatur erfolgt durch Gleichung der Erwärmungsphase, mit:

$$t = t_{\max} = \max \begin{cases} 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} / O \\ t_{\text{lim}} \end{cases}$$

Die maximale Temperatur wird zur Berechnung der Abkühlungsphase benötigt.



Vollbrand

Abkühlungsphase

Berechnung der Temperaturzeitkurve während der Abkühlungsphase:

$$\theta_g = \theta_{\max} - 625 \cdot (t^* - t^*_{\max} \cdot x)$$

mit:

$$t^*_{\max} = (0,2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} / O) \cdot \Gamma$$

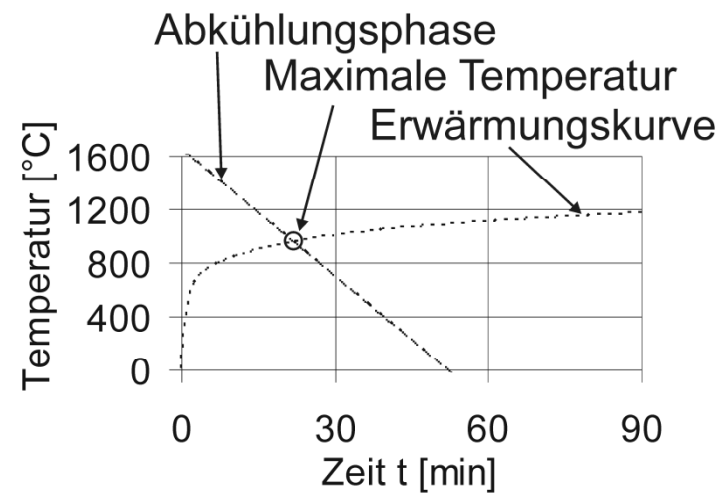
$$t^* = t \cdot \Gamma$$

Wenn Brand ventilationsgesteuert:

$$x = 1,0$$

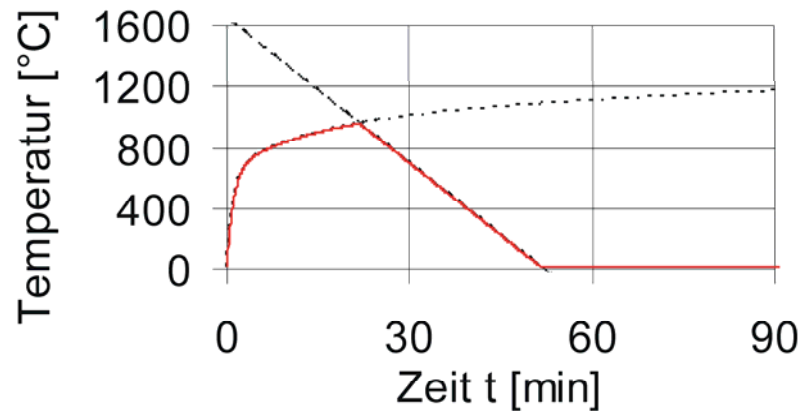
Wenn Brand brandlastgesteuert:

$$x = t_{\lim} \cdot \Gamma / t^*_{\max}$$



Vollbrand

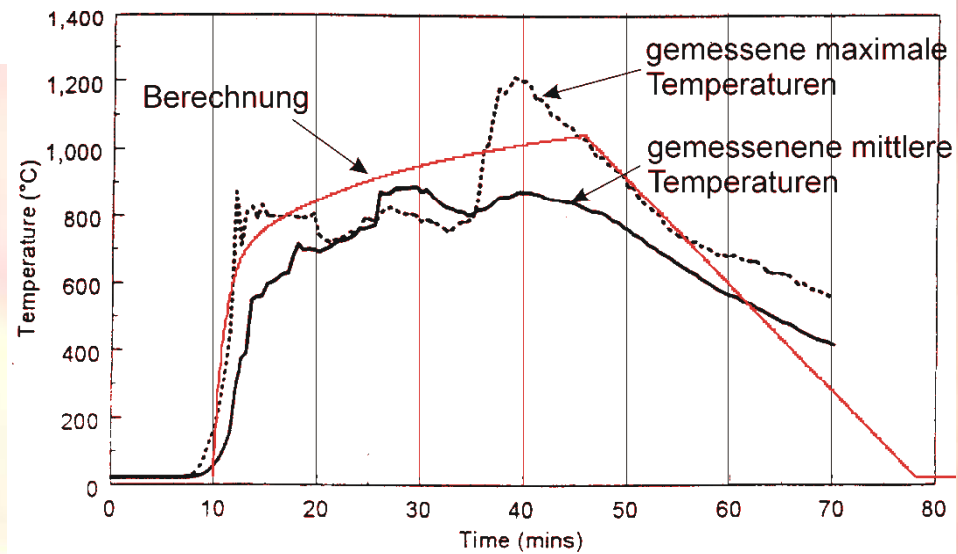
Parametrische Temperaturzeitkurve und Vergleich mit Versuchsergebnissen



← Parametrische Temperaturzeitkurve

Vergleich
Berechnung – Messung

(Faktoren von $q_{fi,d}$: $\delta_{q1} = 1,0$;
 $\delta_{q2} = 1,0$;
 $\delta_n = 1,0$)



Rechenbeispiele – Übersicht

- Einwirkungen
 - ✧ Vollbrand
 - ✧ **Lokaler Brand**

- Stahl
 - ✧ Stahlstütze
 - ✧ Stahlträger (N + M)
 - ✧ Stahlträger (Hohlkastenprofil)

- Verbund
 - ✧ Verbunddecke
 - ✧ Verbundträger
 - ✧ Verbundträger (kammerbetoniert)
 - ✧ Verbundstütze

Lokaler Brand

Aufgabenstellung

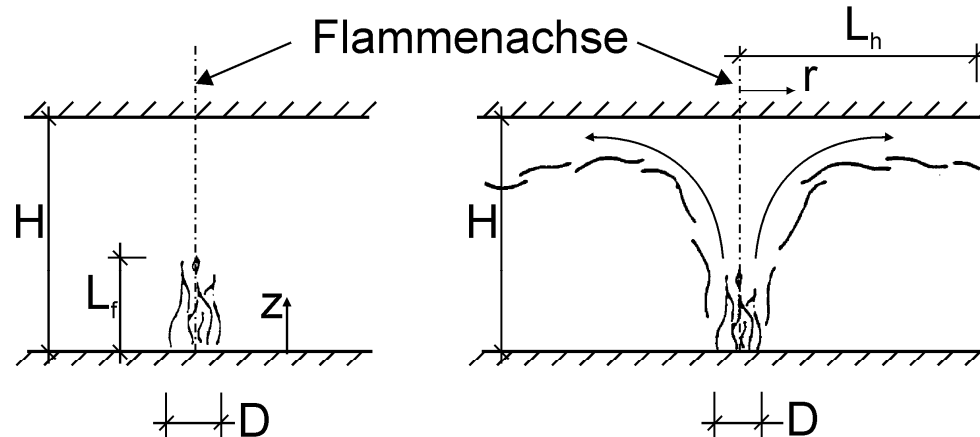
Ermittlung der Stahltemperaturen eines Stahlträgers der dem Feuer eines brennenden PKW ausgesetzt ist.

⇒ Naturbrandmodell für lokale Brände

Flamme

erreicht Decke nicht

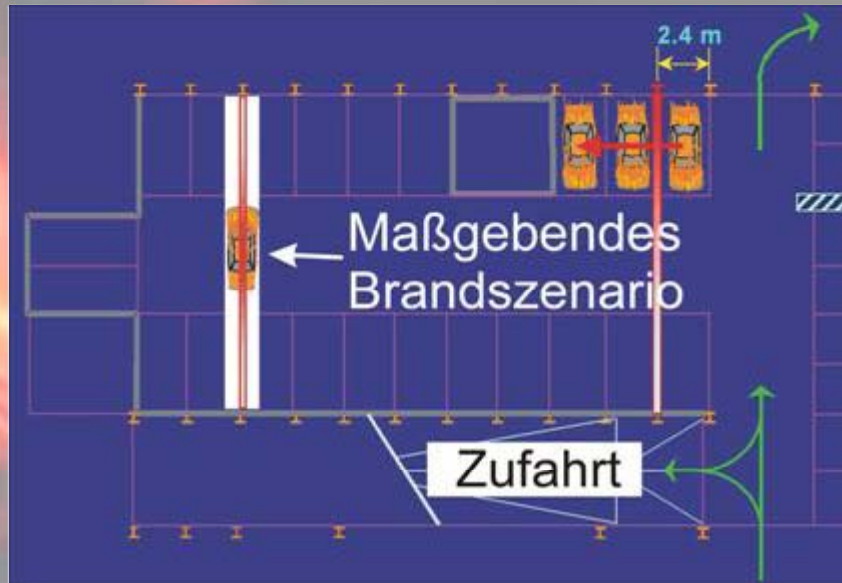
Flamme erreicht Decke



EN 1991-1-2: 2002, Anhang C

Lokaler Brand

Parameter



Gebäude: Parkgarage
Auchan,
Luxemburg

Typ: Unterirdische
Parkgarage

Höhe: $H = 2,7 \text{ m}$

Horizontaler Abstand zwischen

Träger und Flammenachse: $r = 0,0 \text{ m}$

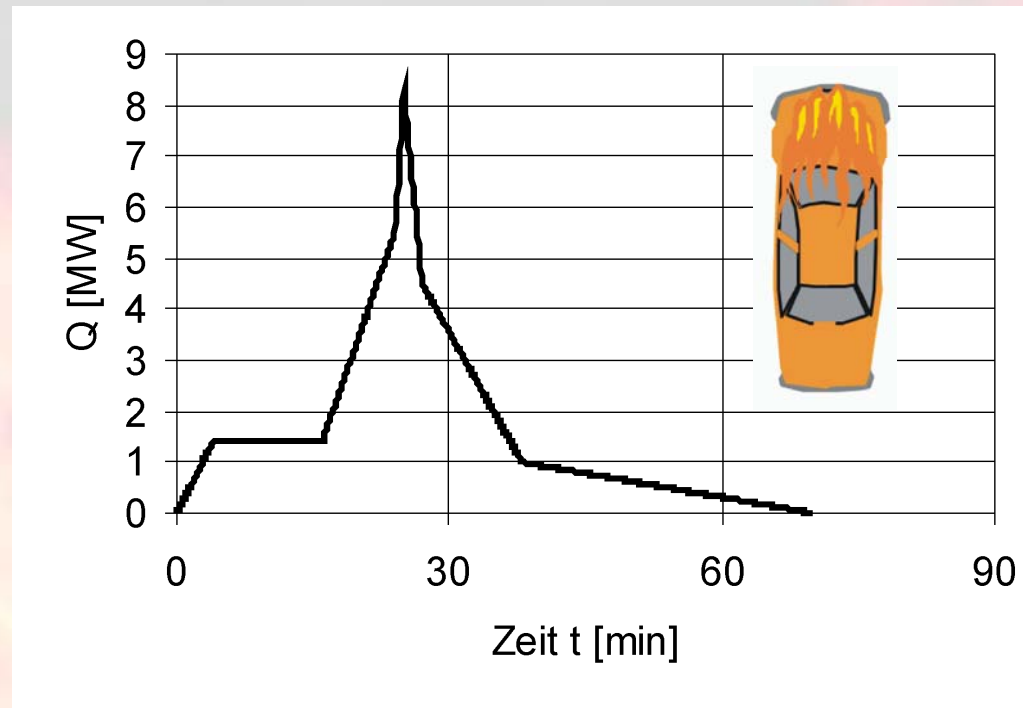
Durchmesser des Feuers: $D = 2,0 \text{ m}$

Stahlträger: IPE 550

Lokaler Brand

Energiefreisetzungsrate

Kurve der Energiefreisetzungsrate eines brennenden PKW



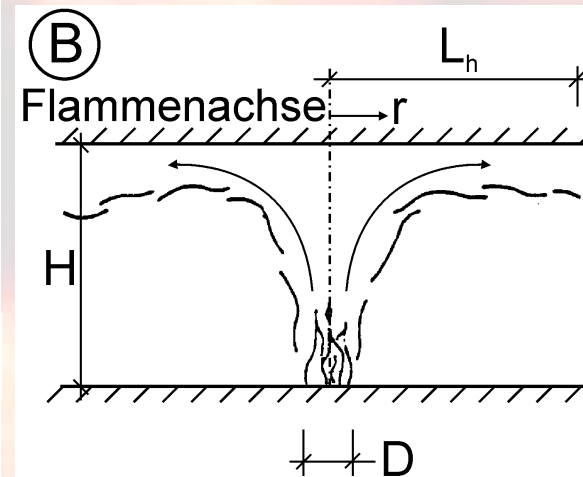
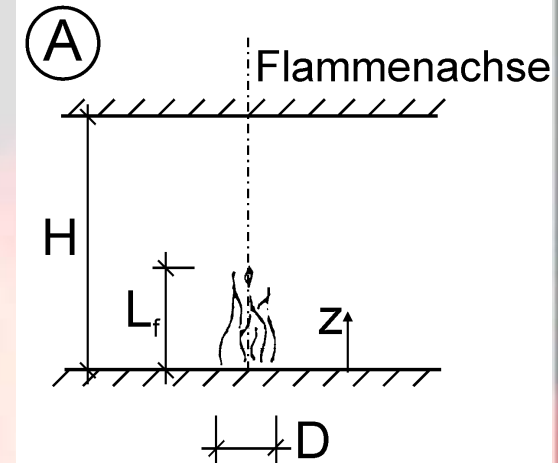
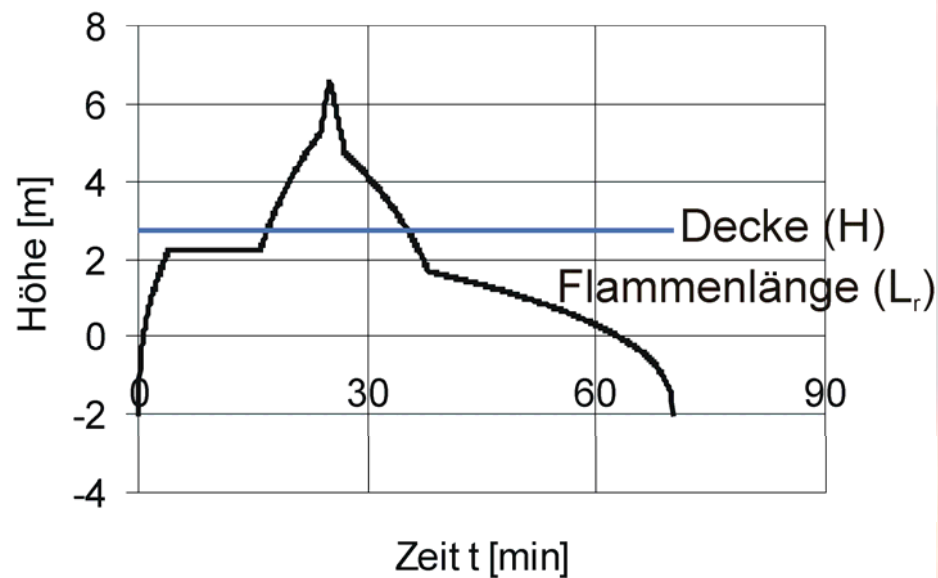
aus ECSC Projekt: Development of design rules for steel structures subjected to natural fires in closed car parks.

Lokaler Brand

Flammenlänge

für $L_r \leq H \Rightarrow$ Modell A ist zu verwenden

für $L_r > H \Rightarrow$ Modell B ist zu verwenden



Lokaler Brand

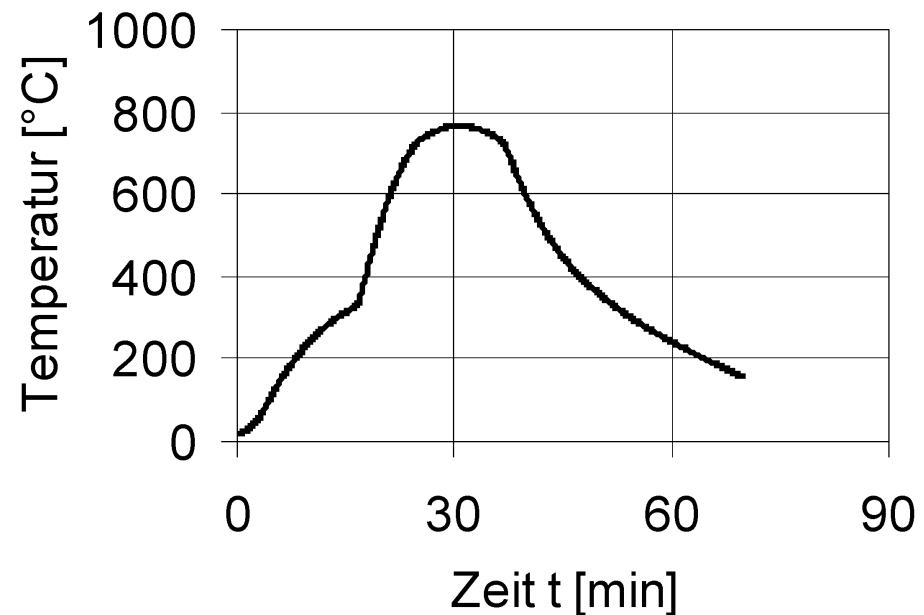
Stahltemperaturen

Temperaturzeitkurve des ungeschützten Stahlträgers:

$$\theta_{a,r} = \theta_m + k_{sh} \cdot \frac{A_p / V}{c_a \cdot \rho_a} \cdot \dot{h}_{net} \cdot \Delta t$$

$$\theta_{a,max} = 818 \text{ °C}$$

$$\text{bei } t_{\theta,max} = 26,67 \text{ min}$$



Rechenbeispiele – Übersicht

- Einwirkungen
 - ✧ Vollbrand
 - ✧ Lokaler Brand

- Stahl
 - ✧ **Stahlstütze**
 - ✧ Stahlträger (N + M)
 - ✧ Stahlträger (Hohlkastenprofil)

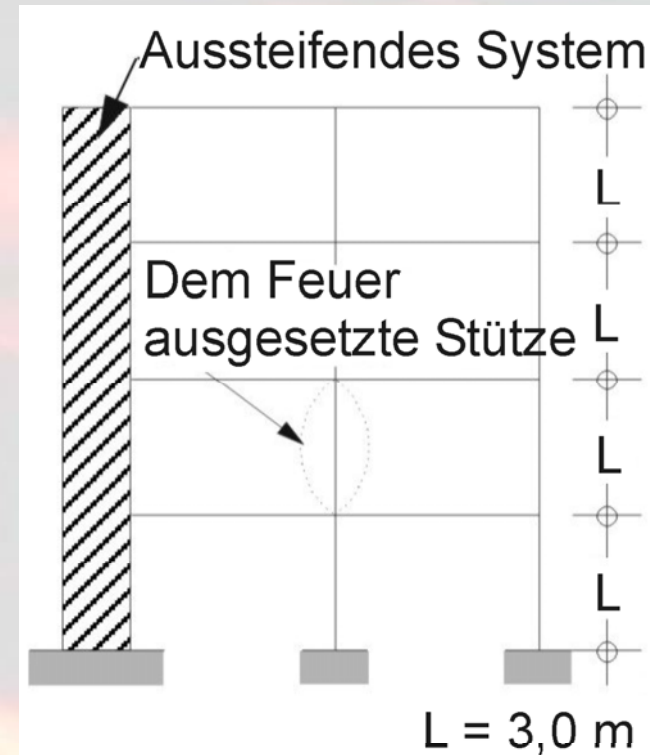
- Verbund
 - ✧ Verbunddecke
 - ✧ Verbundträger
 - ✧ Verbundträger (kammerbetoniert)
 - ✧ Verbundstütze

Stahlstütze

Aufgabenstellung

Ermittlung des Bemessungswertes der zentrischen Tragfähigkeit einer Stahlstütze.

⇒ einfaches Bemessungsverfahren für druckbeanspruchte Bauteile



EN 1993-1-2, Kapitel 4.2.3.2

Stahlstütze

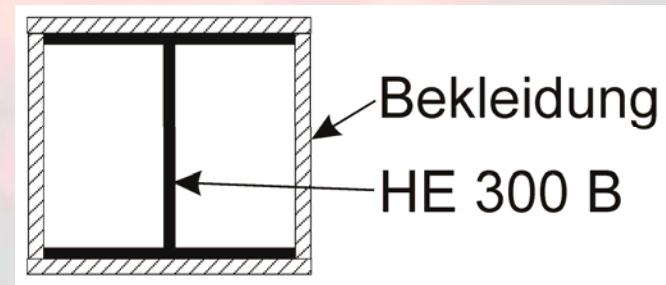
Parameter

Gebäude: Kaufhaus
Feuerwiderstands-
klasse: R 90

Lasten: $G_k = 1200 \text{ kN}$
 $P_k = 600 \text{ kN}$

Profil: Walzprofil
HE 300 B

Brandschutz-
maßnahme: Kastenbekleidung aus Gips ($d_p = 3 \text{ cm}$)
Stahlgüte: S 235



Stahlstütze

Mechanische Einwirkungen im Brandfall

Außergewöhnliche Situation:

$$E_{dA} = E \cdot (\sum G_k + A_d + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i})$$

Kombinationsfaktor für Kaufhäuser: $\Rightarrow \psi_{2,1} = 0,6$

$$\Rightarrow N_{fi,d} = 1560 \text{ kN}$$

Stahlstütze

Maximale Stahltemperatur

Berücksichtigung der Bekleidung:

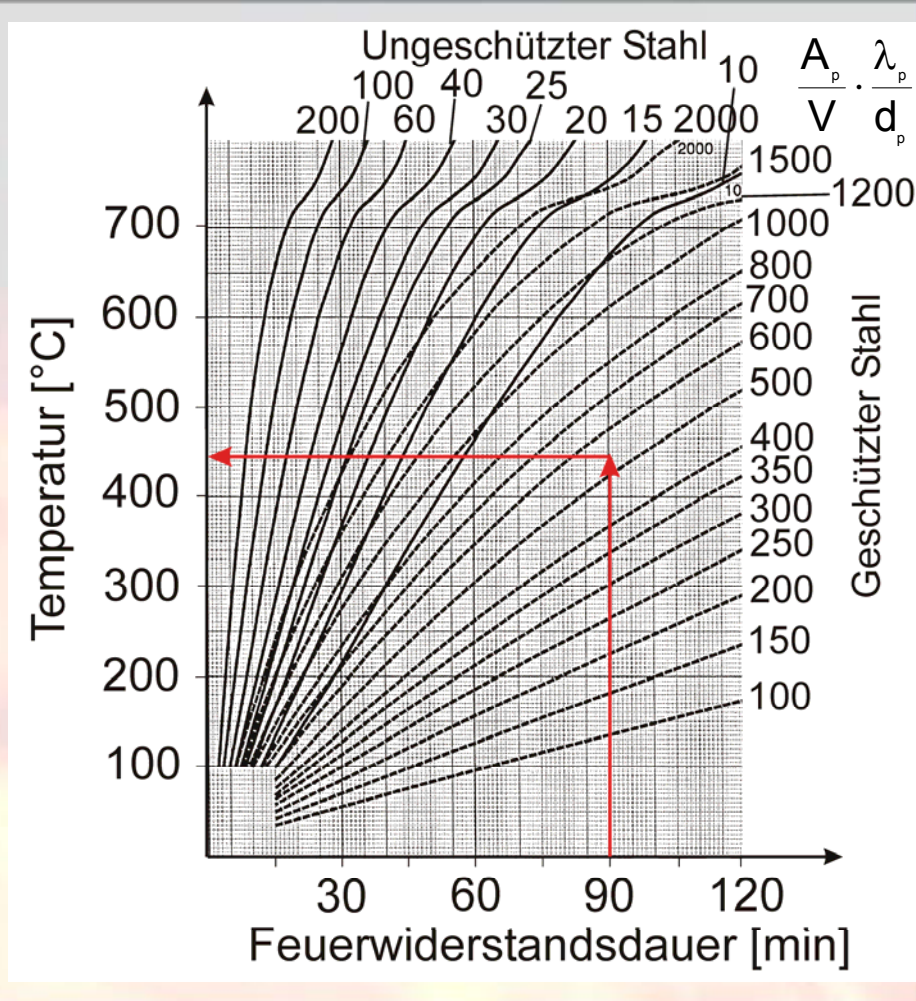
$$\frac{2 \cdot (b + h) \cdot \lambda_p}{A_a \cdot d_p} = 540 \frac{\text{W}}{\text{m}^3 \cdot \text{K}}$$

Euronomogram:

$$\Rightarrow \theta_{a,\text{max},90} \approx 445 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Abminderungsfaktoren:

$$\begin{aligned} \Rightarrow k_{y,\theta} &= 0,901 \\ k_{E,\theta} &= 0,655 \end{aligned}$$



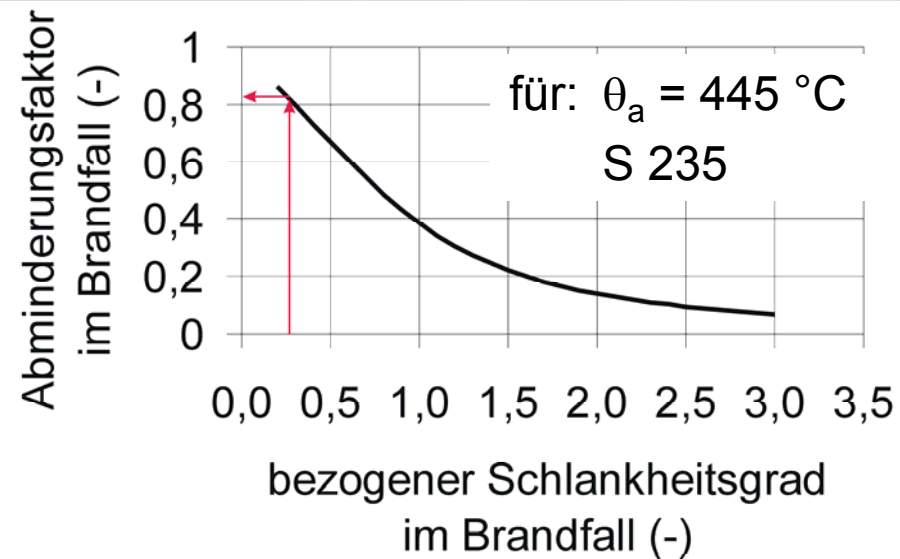
Stahlstütze

Abminderungsfaktor und Nachweis der Tragfähigkeit

- Abminderungsfaktor χ_{fi} :

$$\bar{\lambda}_{fi,\theta} = \bar{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}} = 0.25$$

$$\Rightarrow \chi_{fi} = 0.86$$



- Biegeknicken:

$$N_{b,fi,t,Rd} = \chi_{fi} \cdot A \cdot k_{y,\theta,max} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}$$

$$N_{fi,d} / N_{b,fi,t,Rd} = 0.58 < 1$$

Rechenbeispiele – Übersicht

- Einwirkungen
 - ✧ Vollbrand
 - ✧ Lokaler Brand

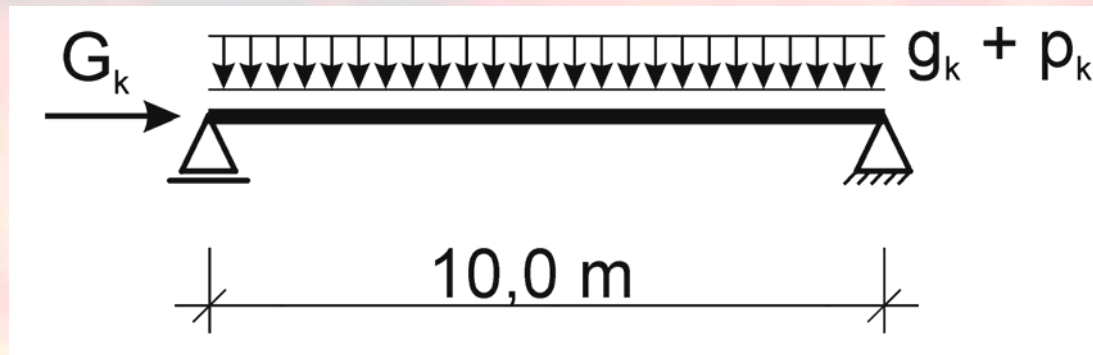
- Stahl
 - ✧ Stahlstütze
 - ✧ **Stahlträger (N + M)**
 - ✧ Stahlträger (Hohlkastenprofil)

- Verbund
 - ✧ Verbunddecke
 - ✧ Verbundträger
 - ✧ Verbundträger (kammerbetoniert)
 - ✧ Verbundstütze

Stahlträger (N + M)

Aufgabenstellung

Tragfähigkeitsnachweis eines Stahlträgers mit Biege- und Druckbeanspruchung im Brandfall.



⇒ Einfaches Bemessungsverfahren für Bauteile mit Biege- und Druckbeanspruchung.

EN 1993-1-2, Kapitel 4.2.3.5

Stahlträger (N + M)

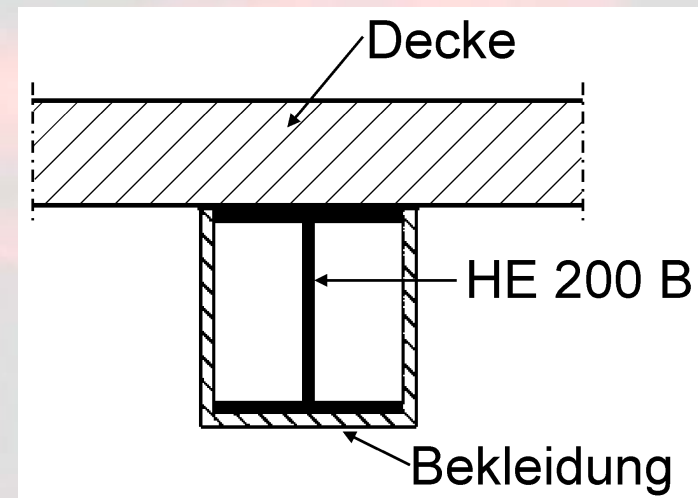
Parameter

Gebäude: Bürogebäude
Feuerwiderstands-
klasse: R 90

Lasten: $G_k = 96,3 \text{ kN}$
 $g_k = 1,5 \text{ kN/m}$
 $p_k = 1,5 \text{ kN/m}$

Profil: Walzprofil
HE 200 B

Brandschutz-
maßnahme: Kastenbekleidung aus Gips ($d_p = 2 \text{ cm}$)
Stahlgüte: S 235



Stahlträger (N + M)

Mechanische Einwirkungen im Brandfall

Außergewöhnliche Situation:

$$E_{dA} = E \cdot (\sum G_k + A_d + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i})$$

Kombinationsbeiwert für Bürogebäude: $\Rightarrow \psi_{2,1} = 0,6$

$$\Rightarrow N_{fi,d} = 96,3 \text{ kN}$$

$$M_{fi,d} = 24,38 \text{ kNm}$$

Stahlträger (N + M)

Maximale Stahltemperatur

Berücksichtigung der Bekleidung:

$$\frac{2 \cdot h + b}{A_a} \cdot \frac{\lambda_p}{d_p} = 770 \frac{W}{m^3 \cdot K}$$

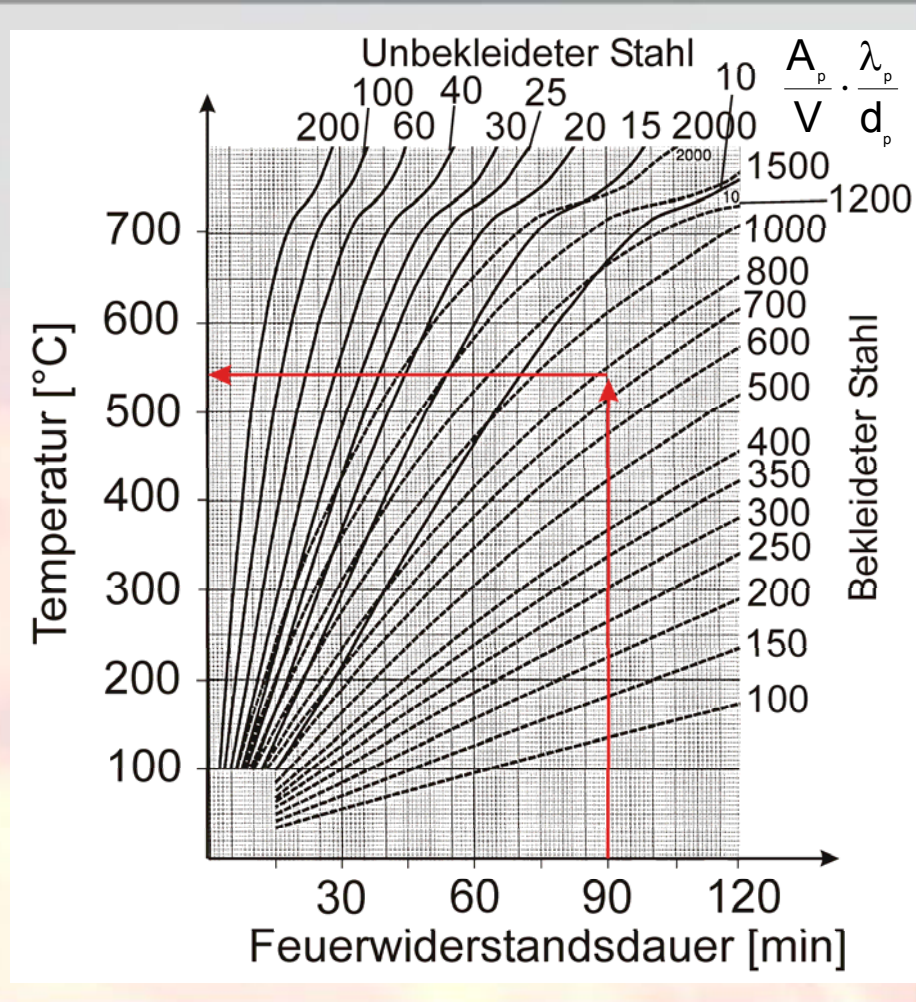
Euronomogram:

$$\Rightarrow \theta_{a,max,90} \approx 540 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Abminderungsfaktoren:

$$\Rightarrow k_{y,\theta} = 0,656$$

$$k_{E,\theta} = 0,484$$



Stahlträger (N + M)

Abminderungsfaktoren und Nachweise der Tragfähigkeit

- Abminderungsfaktoren $\chi_{i,fi}$:

wie Beispiel „Stahlstütze“

- Biegeknicken:

$$\frac{N_{fi,d}}{\chi_{min,fi} \cdot A \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y / \gamma_{M,fi}} + \frac{k_y \cdot M_{y,fi,d}}{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y / \gamma_{M,fi}} = 0,94 \leq 1$$

- Biegedrillknicken:

$$\frac{N_{fi,d}}{\chi_{z,fi} \cdot A \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y / \gamma_{M,fi}} + \frac{k_{LT} \cdot M_{y,fi,d}}{\chi_{LT,fi} \cdot W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y / \gamma_{M,fi}} = 0,73 \leq 1$$

Rechenbeispiele – Übersicht

- Einwirkungen
 - ✧ Vollbrand
 - ✧ Lokaler Brand

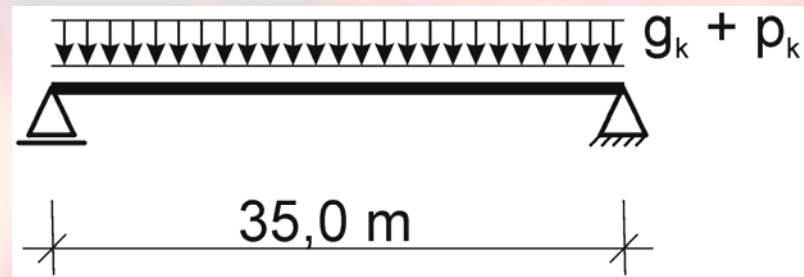
- Stahl
 - ✧ Stahlstütze
 - ✧ Stahlträger (N + M)
 - ✧ **Stahlträger (Hohlkastenprofil)**

- Verbund
 - ✧ Verbunddecke
 - ✧ Verbundträger
 - ✧ Verbundträger (kammerbetoniert)
 - ✧ Verbundstütze

Stahlträger (Hohlkastenprofil)

Aufgabenstellung

Tragfähigkeitsnachweis für Stahlträger mit Biegebeanspruchung im Brandfall.



⇒ einfaches Bemessungsverfahren:

- für Bauteile mit Biegebeanspruchung
- für Bauteile ohne Stabilitätsprobleme

EN 1993-1-2, Kapitel 4.2.3.3

Stahlträger (Hohlkastenprofil)

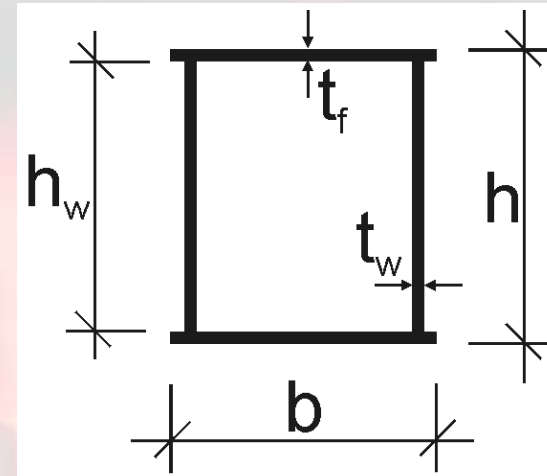
Parameter

Gebäude: Hallendach
Feuerwiderstands-
klasse: R 30

Lasten: $g_k = 9,32 \text{ kN/m}$
 $p_k = 11,25 \text{ kN/m}$

Profil: geschweißtes Profil
 $h / b = 70 \text{ cm} / 45 \text{ cm}$

Brandschutz-
maßnahme: keine
Stahlgüte: S 355



Stahlträger (Hohlkastenprofil)

Mechanische Einwirkungen im Brandfall

Außergewöhnliche Situation:

$$E_{dA} = E \cdot (\sum G_k + A_d + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i})$$

Kombinationsfaktor für Schneelasten: $\Rightarrow \psi_{2,1} = 0,0$

$$\Rightarrow M_{fi,d} = 1427,1 \text{ kNm}$$

Stahlträger (Hohlkastenprofil)

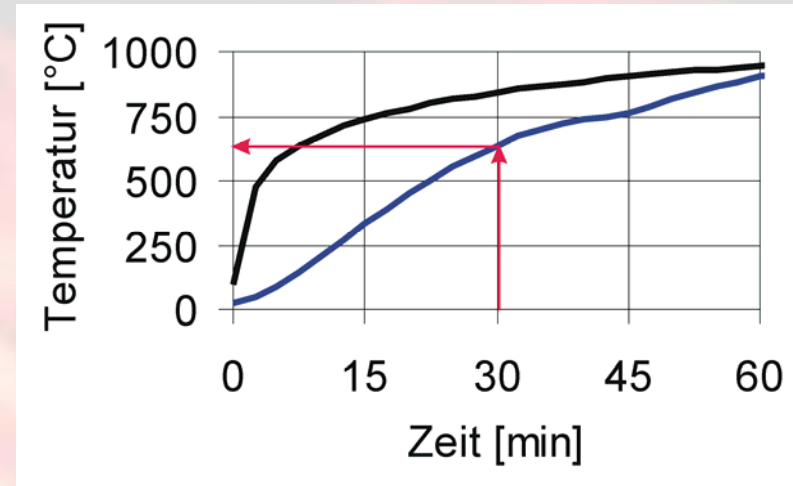
Maximale Stahltemperatur

- Einheits-Temperaturzeitkurve:

$$\theta_g = 20 + 345 \cdot \log_{10}(8 \cdot t + 1)$$

- Stahltemperatur-Zeitkurve:

$$\Delta\theta_{a,r} = k_{sh} \cdot \frac{A_p / V}{c_a \cdot \rho_a} \cdot \dot{h}_{net} \cdot \Delta t$$



Profilmfaktor für Hohlkastenprofile mit gleicher Dicke von Flansch und Steg $\Rightarrow \frac{A_p}{V} = \frac{1}{t} = 40 \frac{1}{m}$

Stahlträger (Hohlkastenprofil)

Nachweise der Tragfähigkeit

- Nachweis auf Temperaturebene:

$$\mu_0 = E_{fi,d} / R_{fi,d,0} = 0,22$$

$$\Rightarrow \theta_{a,cr} = 711 \text{ °C}$$

$$\frac{\theta_{a,max,30}}{\theta_{a,cr}} = 0,91 < 1$$

- Nachweis auf Tragfähigkeitsebene:

$$M_{fi,t,Rd} = M_{pl,Rd,20^\circ\text{C}} \cdot k_{y,\theta} \cdot \frac{\gamma_{M,1}}{\gamma_{M,fi}} \cdot \frac{1}{\kappa_1 \cdot \kappa_2} = 2255,9 \text{ kNm}$$

mit:

$$k_{y,\theta} = 0,350$$

$$\kappa_1 = 1,0$$

$$\kappa_2 = 1,0$$

$$\frac{M_{fi,d}}{M_{fi,t,Rd}} = 0,63 < 1$$

Rechenbeispiele – Übersicht

- Einwirkungen
 - ✧ Vollbrand
 - ✧ Lokaler Brand

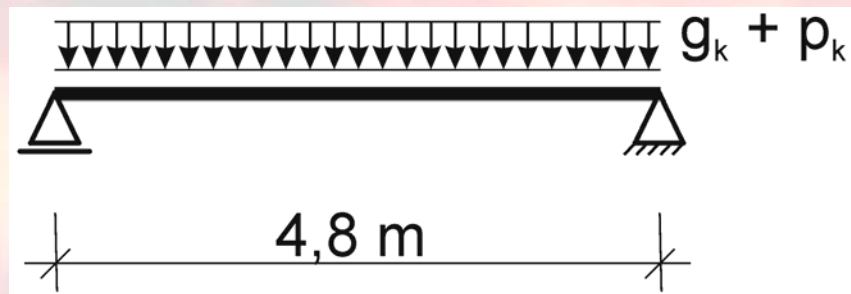
- Stahl
 - ✧ Stahlstütze
 - ✧ Stahlträger (N + M)
 - ✧ Stahlträger (Hohlkastenprofil)

- Verbund
 - ✧ **Verbunddecke**
 - ✧ Verbundträger
 - ✧ Verbundträger (kammerbetoniert)
 - ✧ Verbundstütze

Verbunddecke

Aufgabenstellung

Tragfähigkeitsnachweis für eine Verbunddecke im Brandfall.



⇒ Vereinfachtes Berechnungsverfahren für ungeschützte Verbunddecken

EN 1994-1-2, Annex D

Verbunddecke

Parameter

Gebäude: Kaufhaus

Feuerwiderstands-

klasse: R 90

Lasten: $g_k = 4,62 \text{ kN/m}^2$
 $p_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$

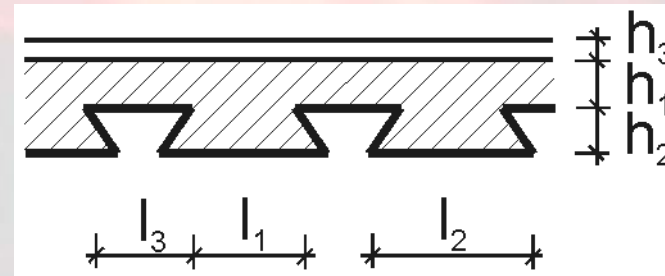
Höhe der Decke: $h = 14,0 \text{ cm}$

Festigkeitsklasse: C 25/30

Stahlblech: hinterschnitten

$h_2 = 5,1 \text{ cm}$

Streckgrenze: $f_y = 350 \text{ N/mm}^2$



Verbunddecke

Mechanische Einwirkungen im Brandfall

Außergewöhnliche Situation:

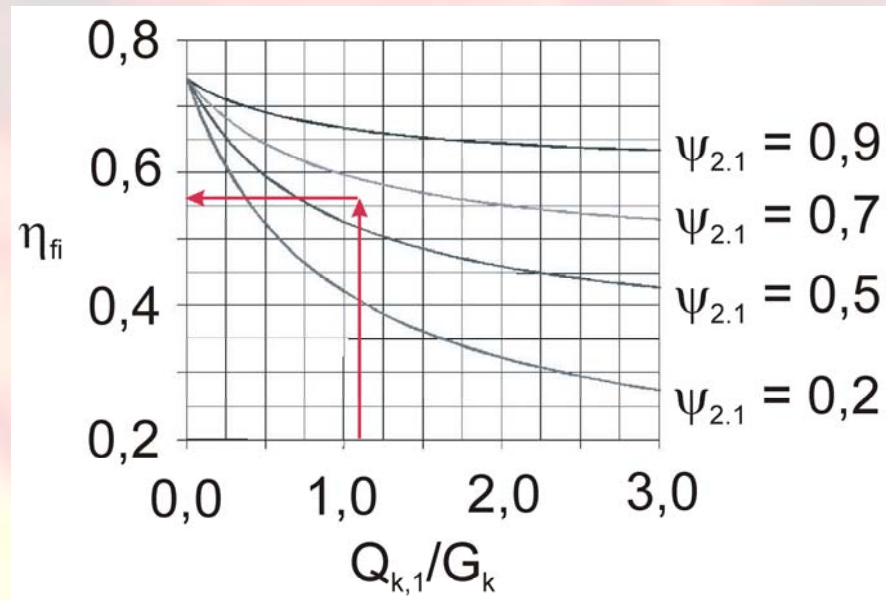
$$E_{dA} = E \cdot (\sum G_k + A_d + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i})$$

$$\frac{Q_{k,1}}{G_k} = \frac{q_{k,1}}{g_k} = 1,1$$

$$\psi_{2.1} = 0,6$$

Biegemoment im
Brandfall:

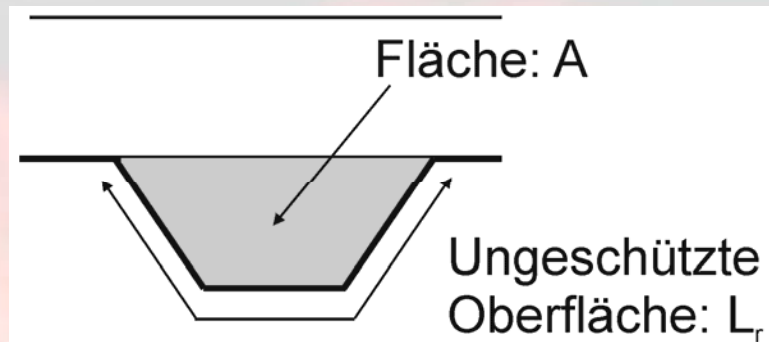
$$M_{fi,d} = \eta_{fi} \cdot M_{sd} = 21,76 \text{ kNm/m}$$



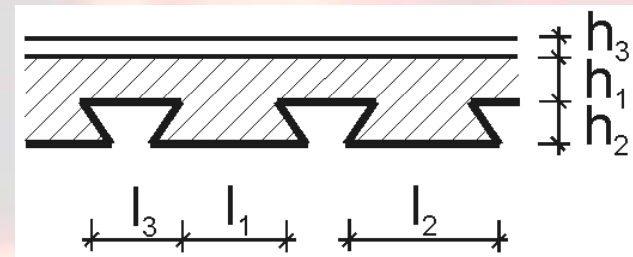
Verbunddecke

Rippengeometriefaktor

Der Rippengeometriefaktor berücksichtigt den positiven Effekt von Masse und Höhe der Rippe.



$$\frac{A}{L_r} = \frac{h_2 \cdot \left(\frac{l_1 + l_2}{2} \right)}{l_2 + 2 \cdot \sqrt{h_2^2 + \left(\frac{l_1 - l_2}{2} \right)^2}} = 27 \text{ mm}$$

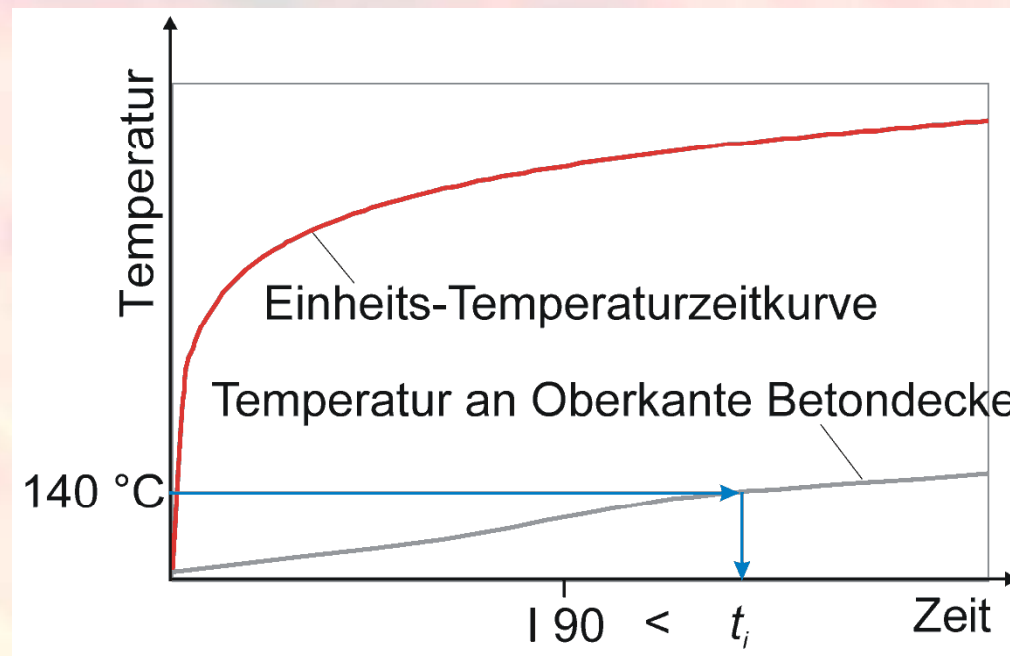


Verbunddecke

Nachweis des Wärmedämmkriteriums

Die Temperatur an der Oberkante der Decke darf im Mittel 140 °C und als Maximalwert 180 °C nicht überschreiten.

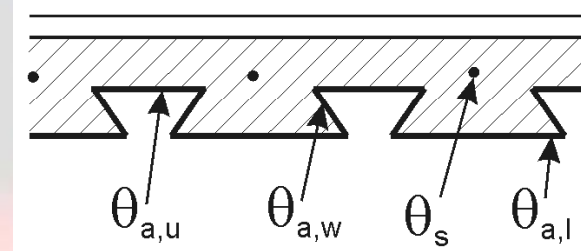
$$t_i = 131,48 \text{ min} > 90 \text{ min}$$



Verbunddecke

Stahltemperaturen und Nachweis der Tragfähigkeit

- Berechnung der Stahltemperaturen:



Stahlblech

$$\theta_{a,i} = b_{0,i} + b_{1,i} \cdot \frac{1}{l_3} + b_{2,i} \cdot \frac{A}{L_r} + b_{3,i} \cdot \Phi + b_{4,i} \cdot \Phi^2$$

Bewehrungsstäbe

$$\theta_s = c_0 + c_1 \cdot \frac{u_3}{h_2} + c_2 \cdot z + c_3 \cdot \frac{A}{L_r} + c_4 \cdot \alpha + c_5 \cdot \frac{1}{l_3}$$

- Nachweis:

$$M_{fi,t,Rd} = \sum A_i \cdot z_i \cdot k_{y,\theta,i} \cdot \left(\frac{f_{y,i}}{\gamma_{M,fi}} \right) + \alpha_{slab} \cdot \sum A_j \cdot z_j \cdot k_{c,\theta,j} \cdot \left(\frac{f_{c,j}}{\gamma_{M,fi,c}} \right)$$

$$= 25,00 \text{ kNm/m} > 21,76 \text{ kNm/m}$$

Rechenbeispiele – Übersicht

- Einwirkungen
 - ✧ Vollbrand
 - ✧ Lokaler Brand

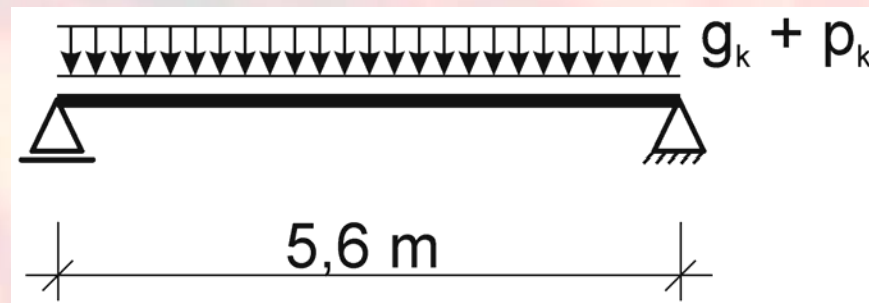
- Stahl
 - ✧ Stahlstütze
 - ✧ Stahlträger (N + M)
 - ✧ Stahlträger (Hohlkastenprofil)

- Verbund
 - ✧ Verbunddecke
 - ✧ **Verbundträger**
 - ✧ Verbundträger (kammerbetoniert)
 - ✧ Verbundstütze

Verbundträger

Aufgabenstellung

Tragfähigkeitsnachweis für einen Verbundträger im Brandfall.



⇒ Vereinfachtes Verfahren für die Berechnung der positiven Momententragfähigkeit von Verbundträgern im Brandfall.

EN 1994-1-2, Anhang E

Verbundträger

Parameter

Gebäude: Bürogebäude
Feuerwiderstandsklasse: R 60

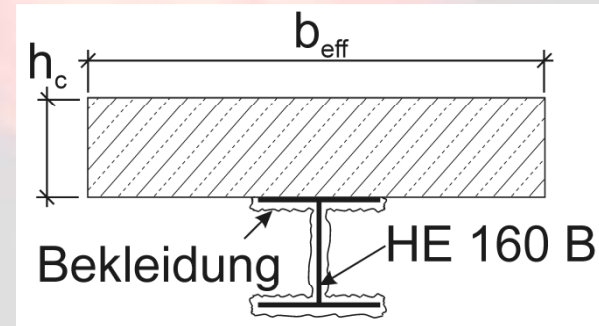
Lasten: $g_k = 28,0 \text{ kN/m}$
 $p_k = 15,0 \text{ kN/m}$

Höhe der Decke: $h_c = 16,0 \text{ cm}$
Festigkeitsklasse: C 25/30

Profil: Walzprofil
HE 160 B

Brandschutzmaßnahme: Profilfolgende
Bekleidung aus Spritzputz
($d_p = 1,5 \text{ cm}$)

Stahlgüte: S 235



Verbundträger

Mechanische Einwirkungen im Brandfall

Außergewöhnliche Situation:

$$E_{dA} = E \cdot (\sum G_k + A_d + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i})$$

Kombinationsfaktor für Bürogebäude: $\Rightarrow \psi_{2,1} = 0,6$

$$\Rightarrow M_{fi,d} = 127,4 \text{ kNm}$$

Verbundträger

Maximale Stahltemperaturen

Oberer Flansch:

$$\theta_{a,max,u} \approx 390 \text{ °C}$$

$$\Rightarrow k_{y,\theta} = 1,0$$

Steg:

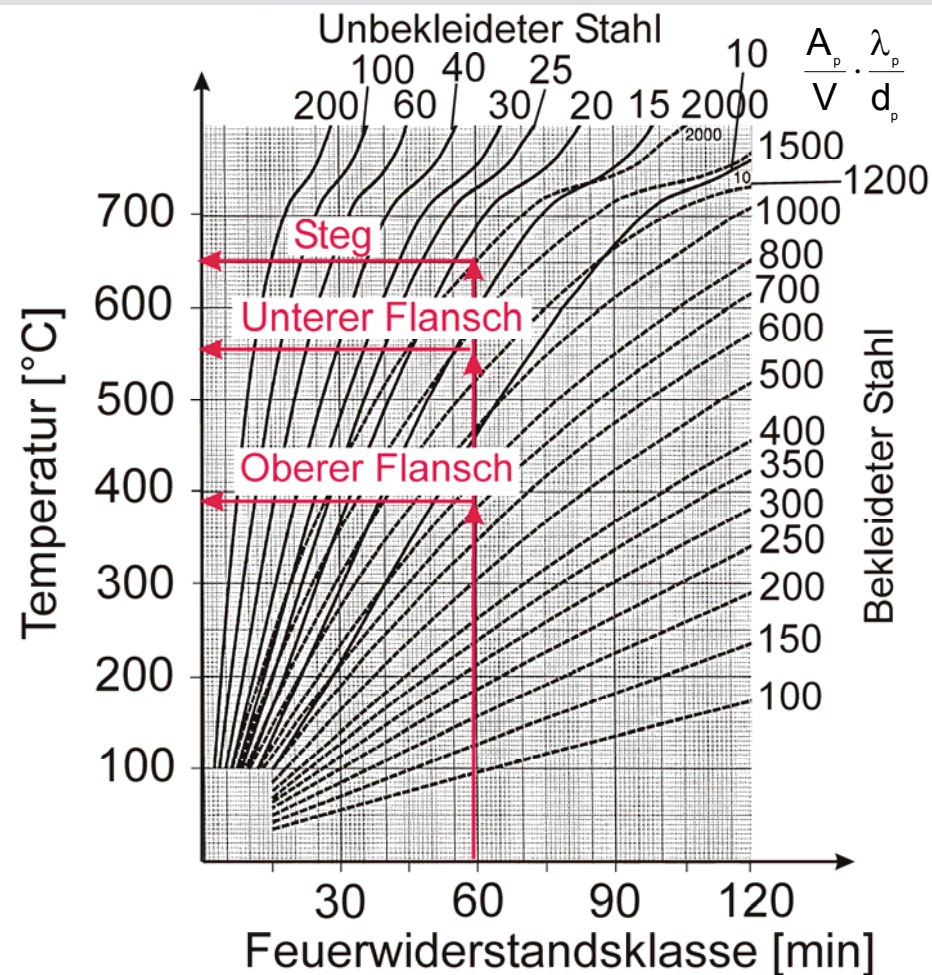
$$\theta_{a,max,w} \approx 650 \text{ °C}$$

$$\Rightarrow k_{y,\theta} = 0,350$$

Unterer Flansch:

$$\theta_{a,max,l} \approx 550 \text{ °C}$$

$$\Rightarrow k_{y,\theta} = 0,625$$



Verbundträger

Temperaturen in der Betondruckzone

Kontrolle, ob die Temperaturen in der Betondruckzone kleiner als 250 °C sind:

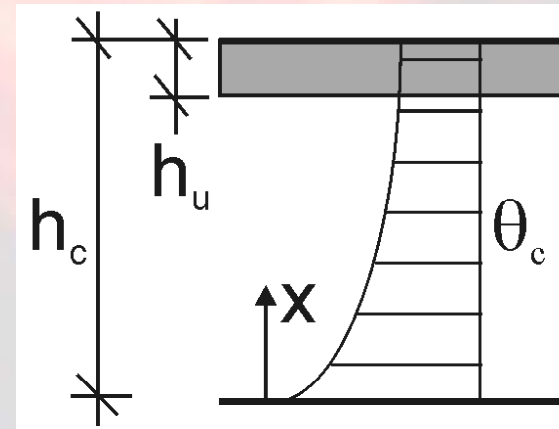
$$(h_c - h_u) = 12,2 \text{ cm} > x = 5 \text{ cm}$$

⇒ Druckfestigkeit des Betons wird nicht reduziert.

mit:

x: Zone im Beton mit Temperaturen $\theta_c > 250 \text{ °C}$

h_u : Höhe der Betondruckzone

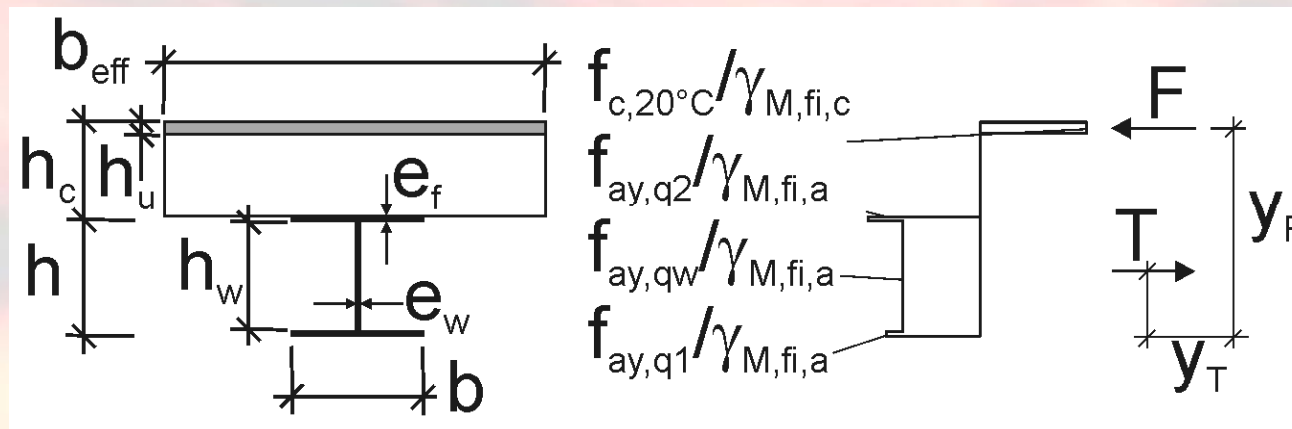


Verbundträger

Positive Momententragfähigkeit im Brandfall und Nachweis der Tragfähigkeit

- Positive Momententragfähigkeit im Brandfall:

$$M_{fi,Rd} = T \cdot (y_F - y_T) = 274,2 \text{ kNm}$$



- Nachweis:

$$\frac{M_{fi,d}}{M_{fi,Rd}} = 0,46 < 1$$

Rechenbeispiele – Übersicht

- Einwirkungen
 - ✧ Vollbrand
 - ✧ Lokaler Brand

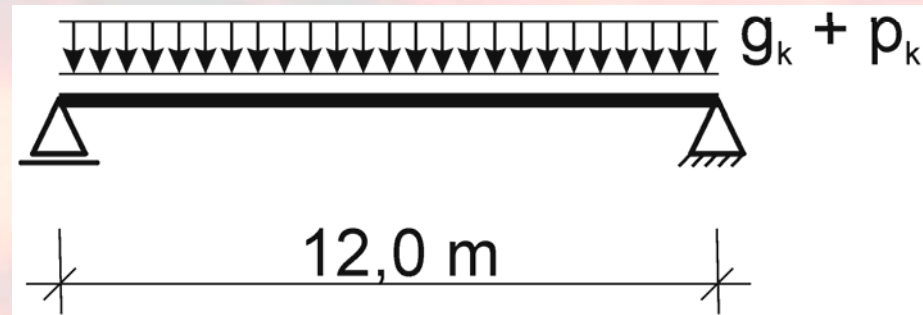
- Stahl
 - ✧ Stahlstütze
 - ✧ Stahlträger (N + M)
 - ✧ Stahlträger (Hohlkastenprofil)

- Verbund
 - ✧ Verbunddecke
 - ✧ Verbundträger
 - ✧ **Verbundträger (kammerbetoniert)**
 - ✧ Verbundstütze

Verbundträger (kammerbetoniert)

Aufgabenstellung

Tragfähigkeitsnachweis für einen kammerbetonierten Verbundträger im Brandfall.



⇒ Vereinfachtes Verfahren für die Berechnung der positiven Momententragfähigkeit von kammerbetonierten Verbundträgern im Brandfall.

EN 1994-1-2, Annex F

Verbundträger (kammerbetoniert)

Parameter

Gebäude: Lager

Feuerwiderstandsklasse: R 90

Lasten: $g_k = 21,0 \text{ kN/m}$
 $p_k = 30,0 \text{ kN/m}$

Höhe der Decke: $h_c = 16 \text{ cm}$

Festigkeitsklasse: C 25/30

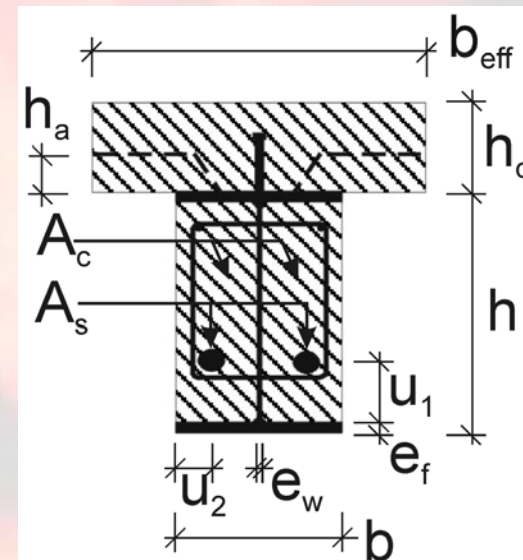
Breite des Kammerbetons: $b_c = b = 20 \text{ cm}$

Festigkeitsklasse: C 25/30

Profil: Walzprofil

IPE 500

Stahlgüte: S 355



Verbundträger (kammerbetoniert)

Mechanische Einwirkungen im Brandfall

Außergewöhnliche Situation:

$$E_{dA} = E \cdot (\sum G_k + A_d + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i})$$

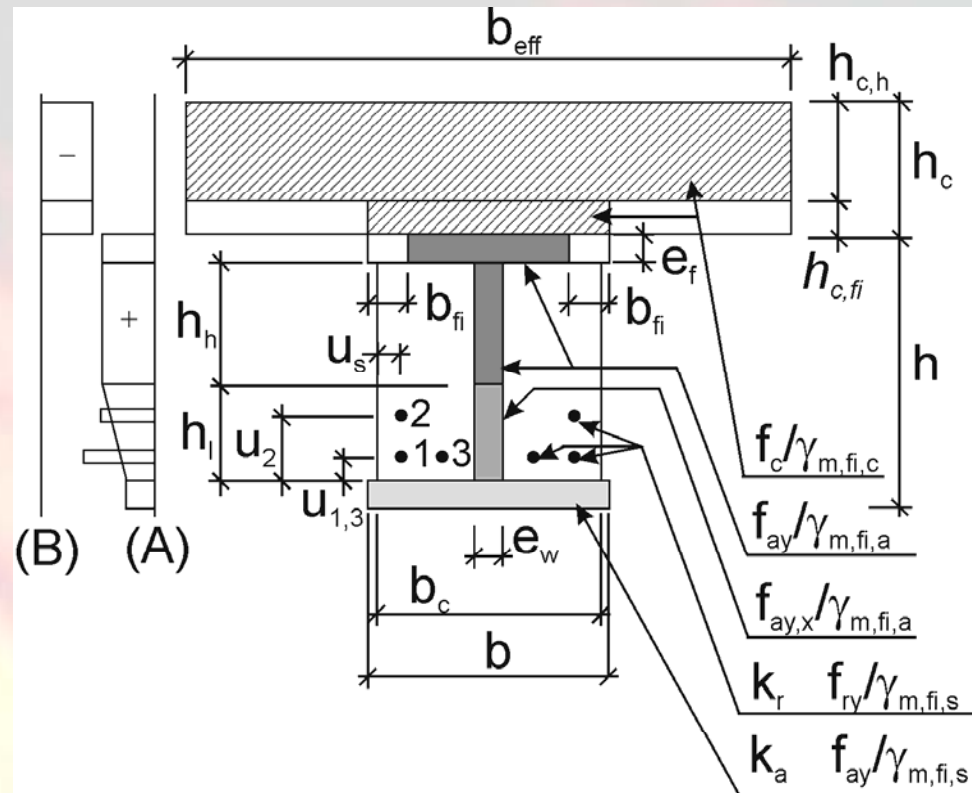
Kombinationsfaktor für Lager: $\Rightarrow \psi_{2,1} = 0,8$

$$\Rightarrow M_{fi,d} = 810,0 \text{ kNm}$$

Verbundträger (kammerbetoniert)

Reduzierung des Verbundquerschnitts im Brandfall

- Betondecke
 - ☐ Dicke
- Oberer Flansch
 - ☐ Breite
- Steg
 - ☐ Ermittlung der Höhe ohne Festigkeitsreduzierung
- Unterer Flansch
 - ☐ Festigkeit
- Bewehrung
 - ☐ Festigkeit



Verbundträger (kammerbetoniert)

Positive Momententragfähigkeit im Brandfall und Nachweis der Tragfähigkeit

- Positive Momententragfähigkeit im Brandfall:

$$M_{fi,Rd} = \sum T_i \cdot z_i = 942,7 \text{ kNm}$$

mit:

T_i : Zugkraft eines Teilquerschnitts

z_i : Abstand zwischen Druckkraft und Zugkraft

- Nachweis:

$$\frac{M_{fi,d}}{M_{fi,Rd}} = 0,86 < 1$$

Rechenbeispiele – Übersicht

- Einwirkungen
 - ✧ Vollbrand
 - ✧ Lokaler Brand

- Stahl
 - ✧ Stahlstütze
 - ✧ Stahlträger (N + M)
 - ✧ Stahlträger (Hohlkastenprofil)

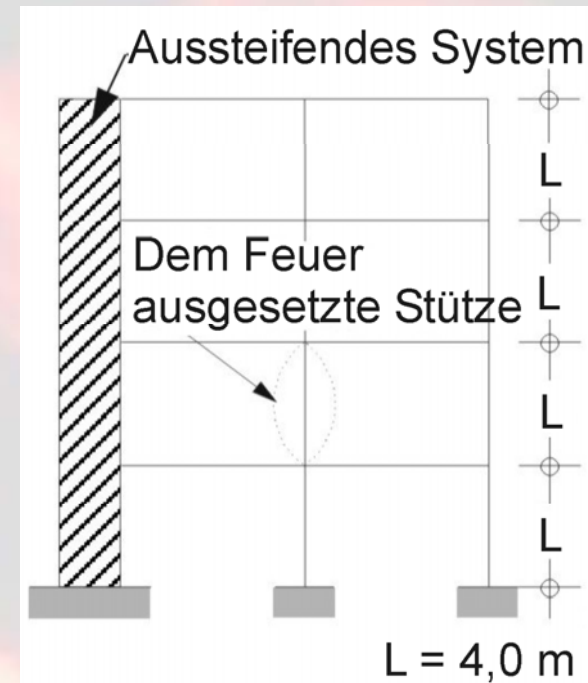
- Verbund
 - ✧ Verbunddecke
 - ✧ Verbundträger
 - ✧ Verbundträger (kammerbetoniert)
 - ✧ **Verbundstütze**

Verbundstütze

Aufgabenstellung

Tragfähigkeitsnachweis für eine Verbundstütze im Brandfall.

⇒ Vereinfachtes Berechnungsverfahren für Verbundstützen im Brandfall und tabellarisches Nachweisverfahren



EN 1994-1-2, Anhang G

EN 1994-1-2, Abschnitt 4.2.3.3

Verbundstütze

Parameter

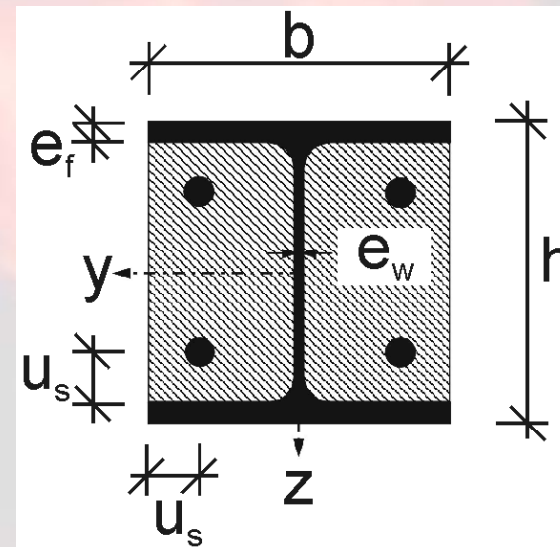
Gebäude: Bürogebäude
Feuerwiderstands-
klasse: R 60

Lasten: $G_k = 960,0 \text{ kN}$
 $P_k = 612,5 \text{ kN}$

Festigkeitsklasse: C 25/30

Profil: Walzprofil
HE 300 B

Stahlgüte: S 235



Verbundstütze

Mechanische Einwirkungen im Brandfall

Außergewöhnliche Situation:

$$E_{dA} = E \cdot (\sum G_k + A_d + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i})$$

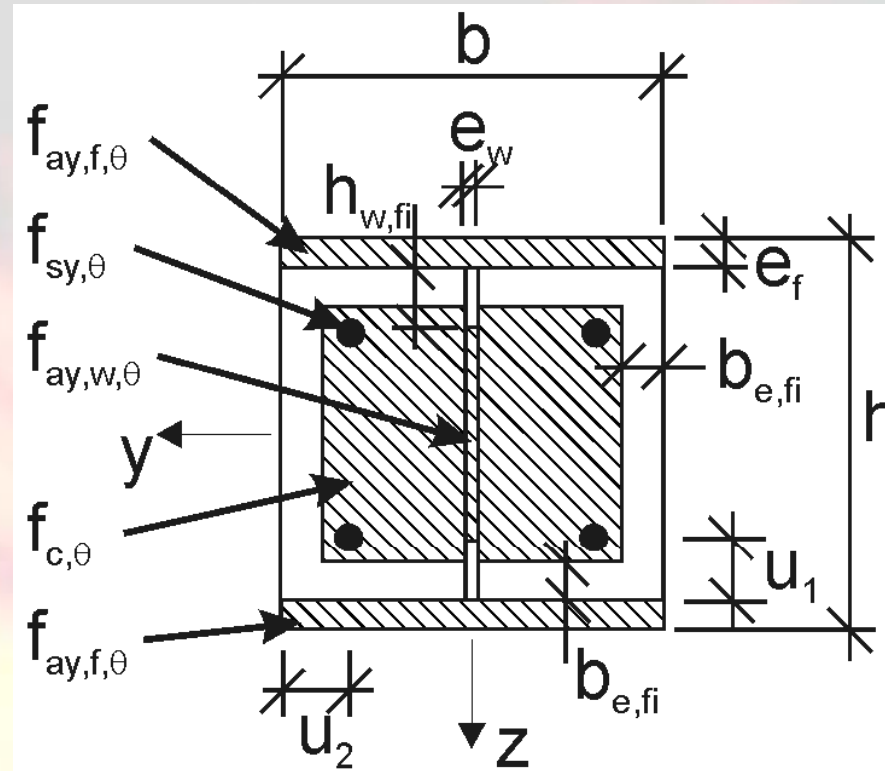
Kombinationsfaktor für Bürogebäude: $\Rightarrow \psi_{2,1} = 0,3$

$$\Rightarrow N_{fi,d} = 1143,8 \text{ kN}$$

Verbundstütze

Reduzierung des Querschnittes im Brandfall

- Flansche
 - ❑ Festigkeit
 - ❑ Steifigkeit
- Steg
 - ❑ Höhe
 - ❑ Festigkeit
 - ❑ Steifigkeit
- Bewehrung
 - ❑ Festigkeit
 - ❑ Steifigkeit
- Kammerbeton
 - ❑ Höhe/Breite
 - ❑ Festigkeit
 - ❑ Steifigkeit



Composite column

Normalkrafttragfähigkeit im Brandfall und Nachweis der Tragfähigkeit

- Normalkrafttragfähigkeit im Brandfall:

$$N_{fi,pl,Rd} = \sum N_{fi,pl,Rd,i} = 2659,8 \text{ kN}$$

mit:

$N_{fi,pl,Rd,i}$ Bemessungswert der plastischen Grenznormalkraft

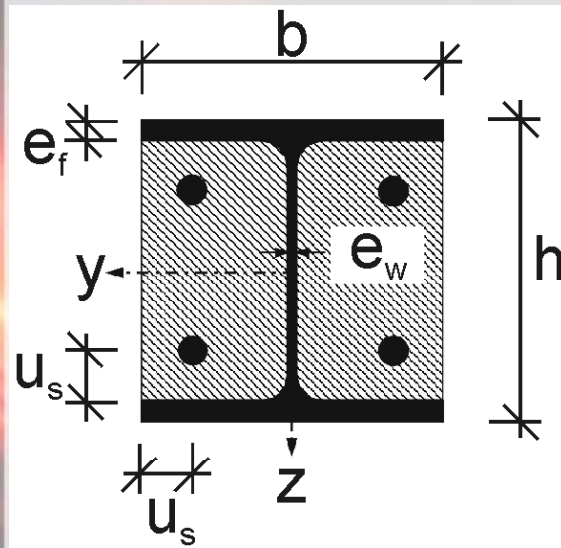
- Biegeknicken:

$$\frac{N_{fi,d}}{\chi_{z,fi} \cdot N_{fi,pl,Rd}} = 0,50 \leq 1$$

$\chi_{z,fi}$ wird wie in der Aufgabe „Stahlstütze“ ermittelt.

Verbundstütze

Tabellarisches Nachweisverfahren der Tragfähigkeit



Vorhandene Parameter:

$$e_w/e_f = 0,58$$

$$b = h = 300 \text{ mm}$$

$$u_s = 50 \text{ mm}$$

$$\eta_{fi,t} = 0,28$$

$$\frac{A_s}{A_c + A_s} = 3\% \quad \text{⚡}$$

		R30	R60	R90	R120
	Mindestverhältnis von Steg- zu Flanschdicke e_w/e_f	0,5	0,5	0,5	0,5
1	Mindestquerschnittsabmessungen für den Lastausnutzungsfaktor $\eta_{fi,t} \leq 0,28$				
1.1	Mindestabmessungen h und b [mm]	160	200	300	400
1.2	Mindestachsabstand der Bewehrungsstäbe u_s [mm]	-	50	50	70
1.3	Mindestbewehrungsgrad $A_s/(A_c + A_s)$ in %	-	4	3	4