



Vorbemerkungen

Inhalt

Vorlagen für statische Nachweise im Verbundbau nach DIN EN 1994

Hinweise zu Anwendung

Die rechenfähigen Vorlagen können mit VCmaster interaktiv genutzt werden.

Alle Vorlagen sind mit hinterlegten Tabellen verknüpft. Das erfolgt mit der TAB()- oder GEW()-Funktion. In diesem Dokument werden die Verknüpfungen dargestellt. Beim Anwenden einer Vorlage können diese Funktionen ausgeblendet werden.

Was kann VCmaster?

VCmaster wurde speziell als Dokumentationswerkzeug für Ingenieure entwickelt. In das einzigartige Softwarekonzept werden sämtliche Statik- und CAD-Programme nahtlos eingebunden. Universelle Schnittstellen gewährleisten die Datenübertragung, so dass die Ausgaben sämtlicher Programme übernommen werden können.

VCmaster bietet neben den Funktionen zur Dokumentation ein intuitives Konzept, das Ingenieuren ermöglicht, Berechnungen auszuführen. Die Eingabe von mathematischen Formeln erfolgt in natürlicher Schreibweise direkt im Dokument. Hunderte vorgefertigte Berechnungsvorlagen ergänzen das Programm. Die ausführlich kommentierten Rechenblätter automatisieren das Erstellen von Einzelnachweisen.

Diese PDF-Datei wurde komplett mit VCmaster erstellt.

Systemvoraussetzung

VCmaster ab Version 2016
Windows 7 oder höher

Entwicklung und Rechte

Entwickelt in Deutschland
VCmaster ist eine registrierte Marke
© Veit Christoph GmbH
www.VCmaster.com



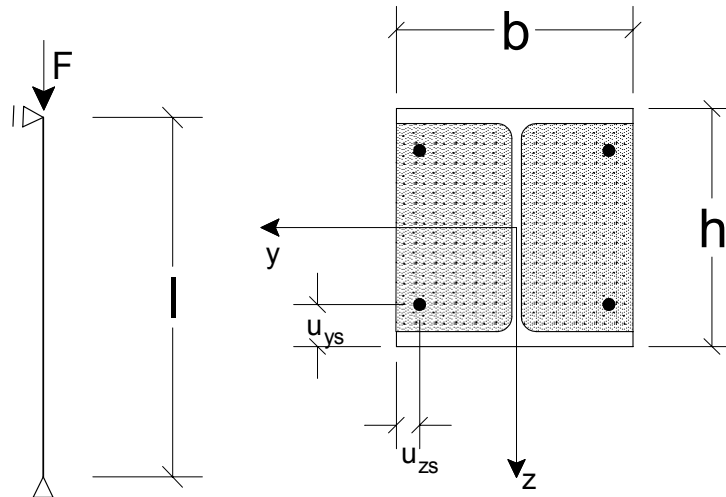
Inhalt

| | |
|---|-----|
| Vorbemerkungen | 1 |
| Inhalt | 2 |
| Kapitel Verbundstützen | 3 |
| I-Profil mit Kammerbeton unter zentrischem Druck | 3 |
| I-Profil mit Kammerbeton unter Druck + Biegung | 8 |
| Betongefüllte runde Hohlprofilstütze | 17 |
| Kapitel Verbundträger | 20 |
| Vorbemessung Einfeld-Verbundträger | 20 |
| Kriechzahl und Schwindmaß eines Verbundträgers | 22 |
| Einfeldträger mit elastischer Grenztragfähigkeit | 25 |
| Einfeldträger mit Filigranplatte und teilweiser Verdübelung | 34 |
| Zweifeldträger mit Filigranplatte und teilweiser Verdübelung | 42 |
| Kapitel Verbunddecken | 55 |
| Einfeld-Verbunddecke mit Trapezprofil | 55 |
| Einfeld-Verbunddecke mit Holorib-Profilblech | 65 |
| Zweifeld Verbunddecke mit Holorib-Profilblech | 69 |
| Kapitel Brandschutz | 74 |
| Verbundstütze mit vollständig einbetoniertem Stahlquerschnitt | 74 |
| Verbundstütze mit teilweise einbetoniertem Stahlquerschnitt | 75 |
| Feuerwiderstand kammerbetonierter Verbundstütze | 77 |
| Feuerwiderstand kammerbetonierter Verbundträger | 81 |
| Feuerwiderstand - Rohr mit Einstellprofil | 85 |
| Feuerwiderstand R30 für ein betongefülltes Hohlprofil | 91 |
| Feuerwiderstand R60 für ein betongefülltes Hohlprofil | 95 |
| Feuerwiderstand R90 für ein betongefülltes Hohlprofil | 99 |
| Feuerwiderstand R120 für ein betongefülltes Hohlprofil | 103 |

Kapitel Verbundstützen

I-Profil mit Kammerbeton unter zentrischem Druck

teilweise einbetonierter I-Querschnitt; Stütze an den Enden unverschieblich gelagert; Nachweis nach DIN EN 1994-1-1:2010-12; 6.7.3; Nachweis der Kraffteinleitung; vereinfachter Brandschutz nach DIN EN 1994-1-2, Tab. 4.6



Angaben zu Verbundstütze

| | | |
|---------------------------------------|--|-----------------------|
| Stützenlänge $l =$ | | 4,50 m |
| Stahlprofil: | | |
| Typ1 = | GEW("ec4_de/Profile";ID;) | = HEB |
| Profil ID1 = | GEW("ec4_de/Typ1; ID;) | = HEB 300 |
| Stahl = | GEW("ec4_de/mat"; ID;) | = S 355 |
| Bewehrung | | |
| gew. $d_s =$ | GEW("ec4_de/As"; ds ;) | = 25 mm |
| $A_{s,gew} =$ | GEW("ec4_de/As"; Bez; ds= d_s ; n=4) | = 4 \varnothing 25 |
| Achsabstand Bew. $u_{sz} =$ | | 69 mm |
| Achsabstand Bew. $u_{sy} =$ | | 50 mm |
| Beton | | |
| Beton = | GEW("ec4_de/beton_ec2"; Bez;) | = C40/50 |
| Verdübelung (duktile Kopfbolzendübel) | | |
| Schaftdurchmesser $d =$ | | 19,0 mm |
| Dübelgesamtlänge $h_{sc} =$ | | 100,0 mm |
| Zugfestigkeit $f_u =$ | | 500 N/mm ² |
| $4/(h_{sc}/d)$ | = | <u>0,76</u> \leq 1 |

Einwirkungen

| | | |
|--|-----------------------------------|------------------|
| ständige Einwirkung | | |
| $F_G =$ | | 2100 kN |
| veränderliche Einwirkung | | |
| $F_Q =$ | | 900 kN |
| Bemessungswert der maßgebenden Einwirkungskombination: | | |
| $\gamma_G =$ | | 1,35 |
| $\gamma_Q =$ | | 1,50 |
| $N_{Ed} =$ | $\gamma_G * F_G + \gamma_Q * F_Q$ | = 4185 kN |



Vereinfachtes Nachweisverfahren nach DIN EN 1994-1-1:2010-12; 6.7.3

Querschnittswerte

Stahlprofil:

| | | | |
|-----------------|---|---|-------------------------|
| $f_{yk} =$ | TAB("ec4_de/mat"; f_{yk} ; ID=Stahl)/10 | = | 35,5 kN/cm ² |
| Höhe $h =$ | TAB("ec4_de/"Typ1; h; ID=ID1) | = | 300,0 mm |
| Breite $b =$ | TAB("ec4_de/"Typ1; b; ID=ID1) | = | 300,0 mm |
| Steg $t_w =$ | TAB("ec4_de/"Typ1; t_w ; ID=ID1) | = | 11,0 mm |
| Flansch $t_f =$ | TAB("ec4_de/"Typ1; t_f ; ID=ID1) | = | 19,0 mm |
| $A_a =$ | TAB("ec4_de/"Typ1; A; ID=ID1) | = | 149,0 cm ² |
| $I_{a,y} =$ | TAB("ec4_de/"Typ1; I_y ; ID=ID1) | = | 25170,0 cm ⁴ |
| $I_{a,z} =$ | TAB("ec4_de/"Typ1; I_z ; ID=ID1) | = | 8560,0 cm ⁴ |

Nachweise des Gurtes (DIN EN 1994-1-1; Tabelle 6.3)

| | | | |
|--|-----------------------------------|-----------------|-------|
| $\text{vorh_bzut}_f =$ | b / t_f | = | 15,79 |
| $\text{max_bzut}_f =$ | $44 \cdot \sqrt{(23,5 / f_{yk})}$ | = | 35,80 |
| $\text{vorh_bzut}_f / \text{max_bzut}_f$ | = | <u>0,44 ≤ 1</u> | |



Werkstoffe

Beton:

| | | | |
|------------|--|---|-------------------------|
| $f_{ck} =$ | TAB("ec4_de/beton_ec2"; f_{ck} ; Bez=Beton)/10 | = | 4,00 kN/cm ² |
| $f_{cd} =$ | TAB("ec4_de/beton_ec2"; f_{cd} ; Bez=Beton)/10 | = | 2,27 kN/cm ² |
| $E_{cm} =$ | TAB("ec4_de/beton_ec2"; E_{cm} ; Bez=Beton)/10 | = | 3500 kN/cm ² |

Berechnung der Endkriechzahl φ nach DIN EN1992-1-1:

wirksame Bauteildicke h_0 :

| | | | |
|---------------|---|---|---------|
| $u =$ | $(2 \cdot h + 0,5 \cdot b) \cdot 10^{-1}$ | = | 75 cm |
| $h_0 =$ | $2 \cdot A_c / u$ | = | 19,5 mm |
| $\varphi_t =$ | | = | 1,88 |

$$N_{G,Ed} = \frac{\gamma_G \cdot F_G}{E_{cm}} = 2835 \text{ kN}$$

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \frac{N_{G,Ed}}{N_{Ed}} \cdot \varphi_t} = 1539 \text{ kN/cm}^2$$

Betonstahlsorte: BSt 500 S

| | | | |
|------------|-----------------|---|--------------------------|
| $f_{sk} =$ | | = | 50 kN/cm ² |
| $E_s =$ | | = | 20000 kN/cm ² |
| $f_{sd} =$ | $f_{sk} / 1,15$ | = | 43,5 kN/cm ² |



Baustahlsorte:

$$f_{yd} = f_{yk} / 1,1 = 32,3 \text{ kN/cm}^2$$

$$E_a = \text{TAB}(\text{"ec4_de/mat"; E; ID=Stahl})/10 = 21000 \text{ kN/cm}^2$$

Kopfbolzendübel:

$$\alpha = \text{WENN}(h_{sc}/d \leq 4; 0,2 * (h_{sc}/d + 1); 1) = 1,00$$

$$P_{Rd,1} = \frac{0,8 * f_u * \frac{1}{4} * \pi * d^2}{1,25} * 10^{-3} = 90,7 \text{ kN}$$

$$P_{Rd,2} = \frac{0,29 * \alpha * d^2 * \sqrt{f_{ck} * E_{cm}}}{1,5} * 10^{-2} = 82,6 \text{ kN}$$

Bemessungswert der Längsschubtragfähigkeit des Dübels

$$P_{Rd} = \text{MIN}(P_{Rd,1}; P_{Rd,2}) = \mathbf{82,60 \text{ kN}}$$

Nachweis bei planmäßig zentrischem Druck

Berechnung der vollplastischen Normalkraft



Berechnung des bezogenen Schlankheitsgrades

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl,Rk}}{N_{cr}}} = 0,813$$

$$\bar{\lambda} / 2,0 = \mathbf{0,41 \leq 1}$$

Abminderungsfaktor χ (Knickspannungslinie c)

$$\chi = \text{TAB}(\text{"EC4_de/chi"; c; } \lambda = \bar{\lambda}) = 0,654$$

Nachweis

$$\frac{N_{Ed}}{\chi * N_{pl,Rd}} = \mathbf{0,87 \leq 1}$$

Verbundsicherung

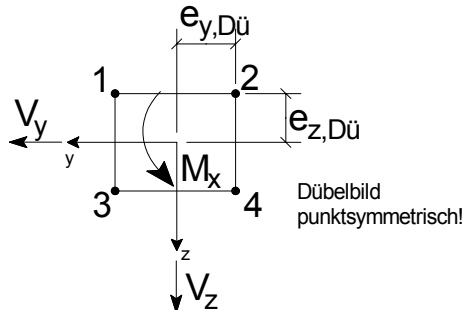
DIN EN 1994-1-1:2010-12 (3) Bei planmäßig zentrisch beanspruchten Stützen und Druckgliedern ist mit Ausnahme der Krafteinleitungsbereiche eine Verbundsicherung nicht erforderlich.

Nachweis der Krafteinleitung

Anteile der Einwirkungen, die über den Stahlquerschnitt in die Verbundstütze eingeleitet werden

$$\Delta F_G = 750 \text{ kN}$$

$$\Delta F_Q = 338 \text{ kN}$$



Punktequerschnitt der Dübelgruppe

Anzahl und Lager der Dübel im Lasteinleitungsbereich (vgl. Skizze)

$$n_{Dü} = 8,0$$

$$e_{z,Dü} = 75 \text{ mm}$$

$$e_{y,Dü} = 75 \text{ mm}$$

Bemessungswerte der Einwirkungen

$$N_{Ed} = \gamma_G \cdot \Delta F_G + \gamma_Q \cdot \Delta F_Q = 1520 \text{ kN}$$

Teilschnittgrößen, die anteilig auf den Beton zu übertragen sind

$$N_{c_s,Ed} = (1 - A_a \cdot f_{yd} / N_{pl,Rd}) \cdot N_{Ed} = 521 \text{ kN}$$

Lasteinleitungslänge

$$l_l = \text{MIN}(2 \cdot b \cdot 10^{-3}; l/3) = 0,60 \text{ m}$$

zusätzliche Tragfähigkeit für jeden Flansch und jede horizontale Dübelreihe

$$\Delta N = 0,5 \cdot P_{Rd} / 2 = 20,6 \text{ kN}$$

Summe der Reibungskräfte reduziert die Beanspruchung der Dübel aus Normalkraft

$$N_{Ed,red} = N_{c_s,Ed} - \Delta N \cdot n_{Dü} = 356,2 \text{ kN}$$

Bei der Dübelgruppe handelt es sich um einen Punktequerschnitt nach [s. Kommentar]

Für eine Kammer erhält man folgende Schnittgrößen:

$$V_z = N_{Ed,red} / 2 = 178 \text{ kN}$$

$$\text{hier... } M_x = 0 \text{ kNm}$$

Für die Eckpunkte gilt:

$$A = n_{Dü} / 2 = 4$$

$$I_p = (4 \cdot e_{y,Dü}^2 + 4 \cdot e_{z,Dü}^2) \cdot 10^{-2} = 450 \text{ cm}^2$$

$$T_z = V_z / A + M_x / I_p \cdot e_{z,Dü} = 44,5 \text{ kN}$$

Nachweis

$$T_z / P_{Rd} = 0,54 \leq 1$$



Brandschutznachweis

| | |
|--|--------------------------|
| Kombinationsfaktor $\psi_{1,1} =$ | 0,50 |
| Bemessungswert der maßgebenden Einwirkungskombination im Brandfall | |
| $E_{fi,d,t} = 1,0 \cdot F_G + 1,0 \cdot \psi_{1,1} \cdot F_Q$ | = 2550 kN |
| Bemessungswert der Tragfähigkeit bei Normaltemperatur | |
| $R_d = \chi^* N_{pl,Rd}$ | = 4791 kN |
| Ermittlung der Eingangswerte für die Tabelle: | |
| Lastausnutzung im Brandfall | |
| $\eta_{fi,t} = E_{fi,d,t} / R_d$ | = 0,53 |
| Mindestbewehrungsgrad | |
| $A_s / (A_c + A_s) \cdot 10^2$ | = 2,62 % |
| Mindestabstand der Bewehrungsstäbe | |
| $u_s = \text{MIN}(u_{sy}; u_{sz})$ | = 50 mm |
| Mindestquerschnittsabmessung: $\text{MIN}(h;b)$ | = 300 mm |
| Mindestverhältnis von Steg- zu Flanschdicke | |
| $0,5 / (t_w/t_f)$ | = <u>0,86 ≤ 1</u> |

Gemäß Tab. 4.6 ergibt sich eine **Feuerwiderstandsklasse R30**

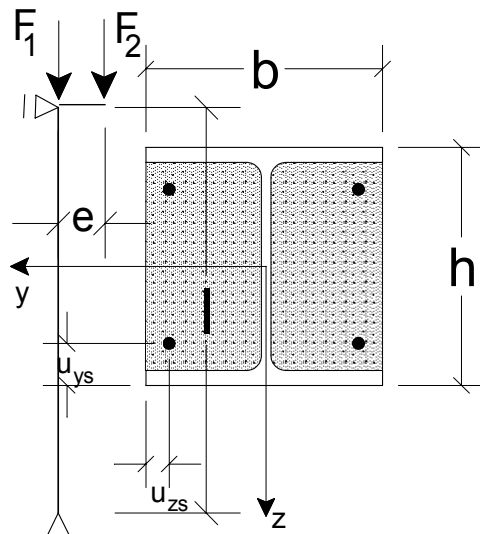
Tabelle 4.6 — Mindestquerschnittsabmessungen, Mindestachsabstand der Bewehrung und Mindestbewehrungsgrad von Verbundstützen mit Kammerbeton

| Feuerwiderstandsklasse | | R30 | R60 | R90 | R120 |
|------------------------|--|-----|-----|-----|------|
| 1 | Mindestquerschnittsabmessungen für den | | | | |
| 1.1 | Lastausnutzungsfaktor $\eta_{fi,t} \leq 0,28$ | | | | |
| 1.2 | Mindestabmessungen h und b in mm | 160 | 200 | 300 | 400 |
| 1.3 | Mindestachsabstand der Bewehrungsstäbe u_s in mm | - | 50 | 50 | 70 |
| | Mindestbewehrungsgrad $A_s/(A_c+A_s)$ in % | - | 4 | 3 | 4 |
| 2 | Mindestquerschnittsabmessungen für den | | | | |
| 2.1 | Lastausnutzungsfaktor $\eta_{fi,t} \leq 0,47$ | | | | |
| 2.2 | Mindestabmessungen h und b in mm | 160 | 300 | 400 | - |
| 2.3 | Mindestachsabstand der Bewehrungsstäbe u_s in mm | - | 50 | 70 | - |
| | Mindestbewehrungsgrad $A_s/(A_c+A_s)$ in % | - | 4 | 4 | - |
| 3 | Mindestquerschnittsabmessungen für den | | | | |
| | Lastausnutzungsfaktor $\eta_{fi,t} \leq 0,66$ | | | | |
| 3.1 | Mindestabmessungen h und b in mm | 160 | 400 | - | - |
| 3.2 | Mindestachsabstand der Bewehrungsstäbe u_s in mm | 40 | 70 | - | - |
| 3.3 | Mindestbewehrungsgrad $A_s/(A_c+A_s)$ in % | 1 | 4 | - | - |

Die in den Tabellen 4.2, 4.4, 4.6 und 4.7 angegebenen Zahlenwerte sind Mindestmaße für die brandschutztechnische Bemessung. Sie gelten zusätzlich zu den Bewehrungsregeln nach DIN EN 1992-1-1.

I-Profil mit Kammerbeton unter Druck + Biegung

teilweise einbetonierter I-Querschnitt, Nachweis nach DIN EN 1994-1-1:2010-12; 6.7.3; Stütze an den Enden unverschieblich gelagert; Nachweis der Tragfähigkeit bei Druck und Biegung um die starke Achse



Angaben zu Verbundstütze

| | | |
|---------------------------------------|--|------------------------|
| Stützenlänge $l =$ | | 4,50 m |
| Stahlprofil: | | |
| Typ1 = | GEW("ec4_de/Profile";ID;) | = HEB |
| Profil ID1 = | GEW("ec4_de/Typ1; ID;) | = HEB 300 |
| Stahl = | GEW("ec4_de/mat"; ID;) | = S 355 |
| Bewehrung | | |
| gew. $d_s =$ | GEW("ec4_de/As"; ds ;) | = 25 mm |
| $A_{s,gew} =$ | GEW("ec4_de/As"; Bez; ds= d_s ; n=4) | = 4 \varnothing 25 |
| Achsabstand Bew. $u_{sz} =$ | | 69 mm |
| Achsabstand Bew. $u_{sy} =$ | | 50 mm |
| Beton | | |
| Beton = | GEW("ec4_de/beton_ec2"; Bez;) | = C40/50 |
| Verdübelung (duktile Kopfbolzendübel) | | |
| Schaftdurchmesser $d =$ | | 19 mm |
| Dübelgesamtlänge $h_{sc} =$ | | 100 mm |
| Zugfestigkeit $f_u =$ | | 500 N/mm ² |
| $4/(h_{sc}/d)$ | = | <u>0,76 ≤ 1</u> |

Einwirkungen

| | | |
|----------------------------|--|---------|
| ständige Einwirkungen | | |
| $F_{1G} =$ | | 1800 kN |
| $F_{2G} =$ | | 300 kN |
| veränderliche Einwirkungen | | |
| $F_{1Q} =$ | | 750 kN |
| $F_{2Q} =$ | | 150 kN |
| Exzentrizität $F_2 e =$ | | 0,30 m |



Bemessungswert der maßgebenden Einwirkungskombination:
Teilsicherheitsbeiwerte

| | | |
|--------------|---|------------------|
| $\gamma_G =$ | | 1,35 |
| $\gamma_Q =$ | | 1,50 |
| $N_{1d} =$ | $\gamma_G^* (F_{1G} + F_{2G}) + \gamma_Q^* (F_{1Q} + F_{2Q})$ | = 4185 kN |
| $M_{1d} =$ | $\gamma_G^* F_{2G}^* e + \gamma_Q^* F_{2Q}^* e$ | = 189 kNm |

Vereinfachtes Nachweisverfahren

Querschnittswerte

Stahlprofil:

| | | |
|--------------------------|--|---------------------------|
| $f_{yk} =$ | TAB("ec4_de/mat"; f _{yk} ; ID=Stahl)/10 | = 35,5 kN/cm ² |
| Höhe h = | TAB("ec4_de/Typ1; h; ID=ID1) | = 300,0 mm |
| Breite b = | TAB("ec4_de/Typ1; b; ID=ID1) | = 300,0 mm |
| Steg t _w = | TAB("ec4_de/Typ1; tw; ID=ID1) | = 11,0 mm |
| Flansch t _f = | TAB("ec4_de/Typ1; tf; ID=ID1) | = 19,0 mm |
| Radius r = | TAB("ec4_de/Typ1; r; ID=ID1) | = 27,0 mm |
| A _a = | TAB("ec4_de/Typ1; A; ID=ID1) | = 149,0 cm ² |
| I _{a,y} = | TAB("ec4_de/Typ1; ly; ID=ID1) | = 25170,0 cm ⁴ |
| I _{a,z} = | TAB("ec4_de/Typ1; lz; ID=ID1) | = 8560,0 cm ⁴ |
| S _{a,y} = | TAB("ec4_de/Typ1; S _y ; ID=ID1) | = 934,0 cm ³ |

Nachweise des Gurtes (DIN EN 1994-1-1; Tabelle 6.3)

| | | |
|--|-----------------------------------|------------------------|
| $\text{vorh_bzut}_f =$ | b / t_f | = 15,79 |
| $\text{max_bzut}_f =$ | $44 \cdot \sqrt{(23,5 / f_{yk})}$ | = 35,80 |
| $\text{vorh_bzut}_f / \text{max_bzut}_f$ | = | <u>0,44 ≤ 1</u> |



Software zur Dokumentation und Berechnung

cmaster

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

Werkstoffe

| | | |
|------------|---|---------------------------|
| Beton: | | |
| $f_{ck} =$ | TAB("ec4_de/beton_ec2"; f _{ck} ; Bez=Beton)/10 | = 4,00 kN/cm ² |
| $f_{cd} =$ | TAB("ec4_de/beton_ec2"; f _{cd} ; Bez=Beton)/10 | = 2,27 kN/cm ² |
| $E_{cm} =$ | TAB("ec4_de/beton_ec2"; E _{cm} ; Bez=Beton)/10 | = 3500 kN/cm ² |



Verbundbau nach EN 1994

Kapitel Verbundstützen

DIN
EN 1994

Seite: 10

Berechnung der Endkriechzahl φ nach DIN EN1992-1-1:

wirksame Bauteildicke h_0 :

$$u = (2 \cdot h + 0,5 \cdot b) \cdot 10^{-1} = 75 \text{ cm}$$

$$h_0 = 2 \cdot A_c / u = 19,5 \text{ mm}$$

| Wirksames Betonalter t_0 (in Tagen) | mittlere Dicke h_0 [mm] | | | | | |
|--|--|-----|-----|--|-----|-----|
| | 50 | 150 | 600 | 50 | 150 | 600 |
| | Lage des Bauteils | | | | | |
| | trocken, in Innenräumen (rel. Luftfeuchtigkeit 50%) | | | feucht, im freien (rel. Luftfeuchtigkeit 80%) | | |
| 1 | 5,5 | 4,6 | 3,7 | 3,6 | 3,2 | 2,9 |
| 7 | 3,9 | 3,1 | 2,6 | 2,6 | 2,3 | 2,0 |
| 28 | 3,0 | 2,5 | 2,0 | 1,9 | 1,7 | 1,5 |
| 90 | 2,4 | 2,0 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,2 |
| 365 | 1,8 | 1,5 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,0 |

$$\varphi_t = 2,50$$

$$N_{G,Ed} = \gamma_G \cdot (F_{1G} + F_{2G}) = 2835 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = N_{1d} = 4185 \text{ kN}$$

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \frac{N_{G,Ed}}{N_{Ed}} \cdot \varphi_t} = 1299 \text{ kN/cm}^2$$

Betonstahlsorte: BSt 500 S

$$f_{sk} = 50 \text{ kN/cm}^2$$

$$E_s = 20000 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{sd} = f_{sk} / 1,15 = 43,5 \text{ kN/cm}^2$$

Baustahlsorte:

$$f_{yd} = f_{yk} / 1,1 = 32,3 \text{ kN/cm}^2$$

$$E_a = \text{TAB}(\text{"ec4_de/mat"; E; ID=Stahl})/10 = 21000 \text{ kN/cm}^2$$

Kopfbolzendübel:

$$\alpha = \text{WENN}(h_{sc}/d \leq 4; 0,2 \cdot (h_{sc}/d + 1); 1) = 1,00$$

$$P_{Rd,1} = \frac{0,8 \cdot f_u \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2}{1,25} \cdot 10^{-3} = 90,7 \text{ kN}$$

$$P_{Rd,2} = \frac{0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}}}{1,5} \cdot 10^{-2} = 82,6 \text{ kN}$$

Bemessungswert der Längsschubtragfähigkeit des Dübels

$$P_{Rd} = \text{MIN}(P_{Rd,1}; P_{Rd,2}) = 82,60 \text{ kN}$$



Anwendungsgrenzen

$$N_{pl,Rk} = A_a \cdot f_{yk} + A_c \cdot 0,85 \cdot f_{ck} + A_s \cdot f_{sk} = 8756 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} + A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{sd} = 7326 \text{ kN}$$

$$\delta = A_a \cdot f_{yd} / N_{pl,Rd} = 0,66$$

$$0,2 / \delta = 0,30 \leq 1$$

$$\delta / 0,9 = 0,73 \leq 1$$

Berechnung der Verzweigungslast

$$EI_{eff} = (E_a \cdot I_{a,z} + E_s \cdot I_{s,z} + 0,6 \cdot E_{c,eff} \cdot I_{c,z}) \cdot 10^{-4} = 26343 \text{ kNm}^2$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI_{eff}}{l^2} = 12839 \text{ kN}$$

Berechnung der bezogenen Schlankheit

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl,Rk}}{N_{cr}}} = 0,826$$

$$\bar{\lambda} / 2,0 = 0,41 \leq 1$$

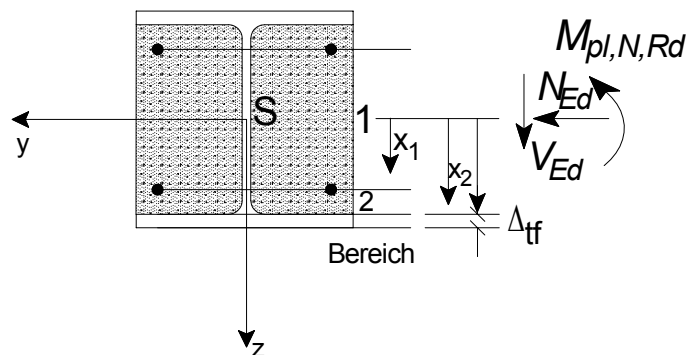
Nachweis mit Ersatzimperfektionen

a) um die starke Querschnittsachse

Es handelt sich beim Nachweis um die y-y-Achse um einen gedrückten Biegestab.

Annahme: stärker versagensgefährdete Achse nicht eindeutig bestimmbar,

es wird deshalb die Ersatzimperfektion um die y-y-Achse angesetzt, um die z-z-Achse wird dann keine Ersatzimperfektion angenommen. Biegemoment um die z-z-Achse ist $M_{z,Ed} = 0$, da keine Querbelastung vorliegt.



Die plastische neutrale Achse liegt im Bereich 1.

Software zur Dokumentation und Berechnung

Cmaster

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

$$x_2 \cdot 10 / (h/2 - t_f) = 1,64 \leq 1$$

$$(h/2 - u_{sy}) \cdot 10^{-1} / x_2 = 0,47 \leq 1$$



Die plastische neutrale Achse liegt im Bereich 3.

$$\Delta t_f = \frac{N_{pl,Rd} - N_{Ed}}{2 \cdot b \cdot 10^{-1} \cdot f_{yd}} = 1,62 \text{ cm}$$

$$\Delta t_f \cdot 10 / t_f = \underline{0,85 \leq 1}$$

reduzierte Momententragfähigkeit

$$M_{pl,y,N,Rd} = \Delta t_f \cdot b \cdot 10^{-1} \cdot (h \cdot 10^{-1} - \Delta t_f) \cdot f_{yd} \cdot 10^{-2} = \mathbf{446 \text{ kNm}}$$

Referenzbiegesteifigkeit um die y-y-Achse (für Th.II.O.):

$$EI_{eff,II,y} = 0,9 \cdot (E_a \cdot I_{a,y} + E_s \cdot I_{s,y} + 0,5 \cdot E_{c,eff} \cdot I_{c,y}) \cdot 10^{-4} = 52289 \text{ kNm}^2$$

Berechnung nach Theorie I. oder II. Ordnung?

$$N_{cr,eff,y} = \frac{2 \cdot EI_{eff,II,y}}{l^2} = 25485 \text{ kN}$$

$$\alpha_{cr,y} = N_{cr,eff,y} / N_{Ed} = \underline{6,09}$$

Nach DIN EN 1994-1-1:2010-12, Tab. 6.5 gilt Knickspannungslinie b maximaler Stich der Vorkrümmung:

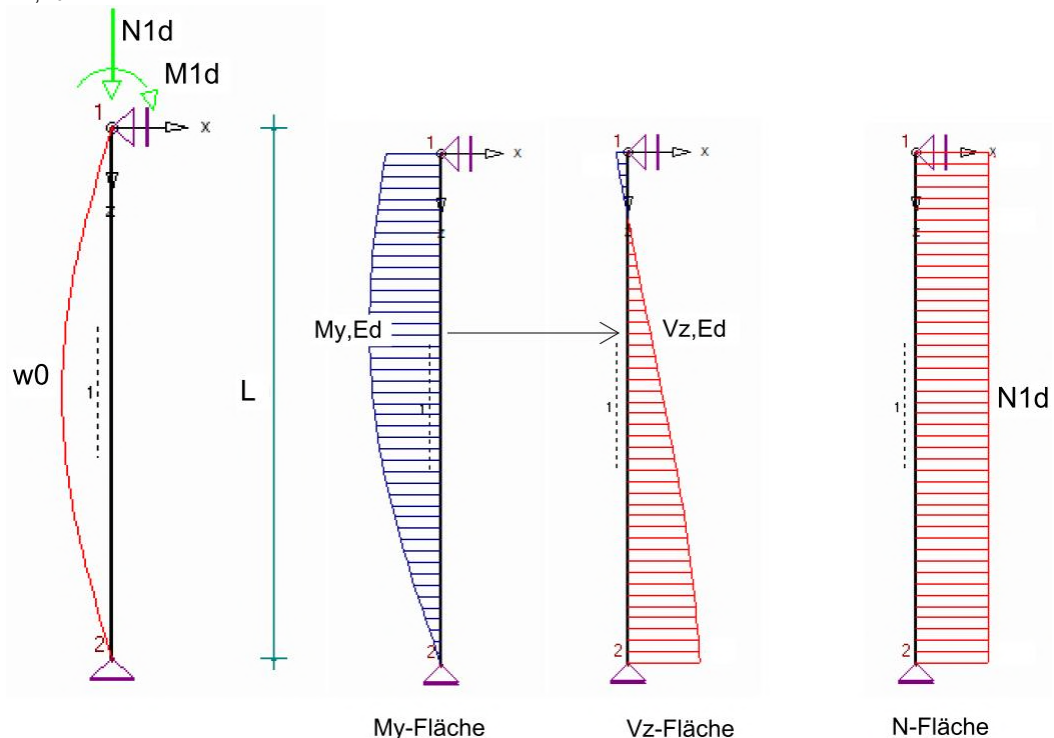
$$w_0 = l / 200 \cdot 10^3 = 22,5 \text{ mm}$$

D.h. für den Nachweis sind die einwirkenden Biegemomente unter Ansatz der Ersatzimperfektion und ggf. unter Berücksichtigung der Th.II.O. (vgl. oben $\alpha_{cr,y}$) in einer Nebenrechnung zu bestimmen!

maximale Schnittgrößen aus Nebenrechnung:

$$M_{y,Ed} = 246 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 24,4 \text{ kN}$$



Tragfähigkeitsnachweis bei Druck und einachsiger Biegung

$$\alpha_M = \frac{M_{y,Ed}}{\alpha_M \cdot M_{pl,y,N,Rd}} = 0,90$$

$$= \underline{0,61 \leq 1}$$

Nachweis mit Ersatzimperfektionen

b) um die schwache Querschnittsachse



Es handelt sich beim Nachweis um die z-z-Achse um einen zentrischen Druckstab. Es ist die Ersatzimperfection um die z-z-Achse anzusetzen. Um die y-y-Achse wird dann keine Ersatzimperfection angenommen.

$$N_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} + A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{sd} = 7326 \text{ kN}$$

Die plastische neutrale Achse liegt im Bereich 2.

$$b_z = \frac{N_{pl,Rd} - N_{Ed}}{4 \cdot t_f \cdot 10^{-1} \cdot f_{yd}} = 12,80 \text{ cm}$$

$$W_{pl,aN} = b_z \cdot 2 \cdot t_f \cdot 10^{-1} \cdot (b \cdot 10^{-1} - b_z) = 837 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,sN} = 0 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,cN} = b_z \cdot h \cdot 10^{-1} \cdot (b/2 \cdot 10^{-1} - b_z/2) - W_{pl,aN}/2 - W_{pl,sN}/2 = 2884 \text{ cm}^3$$

reduzierte Momententragfähigkeit

$$M_{pl,z,N,Rd} = (W_{pl,aN} \cdot f_{yd} + W_{pl,sN} \cdot f_{sd} + W_{pl,cN} \cdot f_{cd}) \cdot 10^{-2} = 336 \text{ kNm}$$

Kontrolle:

$$b_z \cdot 10 / u_{sy} = \underline{2,56} \leq 1$$

Die plastische neutrale Achse liegt im Bereich 1.

$$b_z = \frac{N_{pl,Rd} - N_{Ed} - 2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{(d_s \cdot 10^{-1})^2}{4} \cdot f_{sd}}{4 \cdot t_f \cdot 10^{-1} \cdot f_{yd}} = 9,32 \text{ cm}$$



Software zur Dokumentation und Berechnung

cmaster

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

Referenzbiegesteifigkeit um die z-z-Achse:

$$EI_{eff,II,z} = 0,9 \cdot (E_a \cdot I_{a,z} + E_s \cdot I_{s,z} + 0,5 \cdot E_{c,eff} \cdot I_{c,z}) \cdot 10^{-4} = 23042 \text{ kNm}^2$$

Berechnung nach Theorie I. oder II. Ordnung?

$$N_{cr,eff,z} = \frac{2 \cdot EI_{eff,II,z}}{\pi \cdot \frac{l^2}{2}} = 11230 \text{ kN}$$

$$\alpha_{cr,z} = N_{cr,eff,z} / N_{Ed} = \underline{2,68}$$

Nach DIN EN 1994-1-1:2010-12, Tab. 6.5 gilt Knickspannungslinie c maximaler Stich der Vorkrümmung:

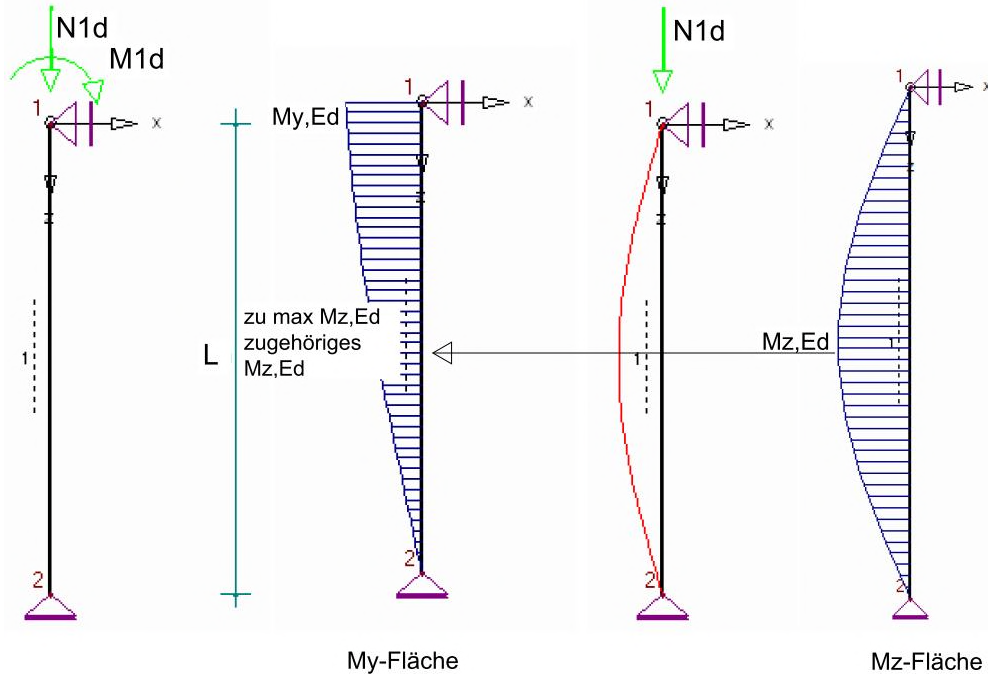
$$w_0 = l / 150 \cdot 10^3 = 30,0 \text{ mm}$$

D.h. für den Nachweis sind die einwirkenden Biegemomente unter Ansatz der Ersatzimperfection und ggf. unter Berücksichtigung der Th.II.O. (vgl. oben $\alpha_{cr,z}$) in einer Nebenrechnung zu bestimmen!

maximale Schnittgrößen aus Nebenrechnung:

$$M_{z,Ed} = 197 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 189 \text{ kNm}$$



Tragfähigkeitsnachweis bei Druck und zweiachsiger Biegung

$$\alpha_M = 0,90$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{\alpha_M \cdot M_{pl,y,N,Rd}} = 0,47 \leq 1$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{\alpha_M \cdot M_{pl,z,N,Rd}} = 0,58 \leq 1$$

Schnittgrößen in der Mitte des Stabes aus Nebenrechnung:

$$M_{z,Ed} = 197 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 117 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,N,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,N,Rd}} = 0,78 \leq 1$$

Schnittgrößen an der Stelle der maximalen Ausnutzung:

$$M_{z,Ed} = 177 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 144 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,N,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,N,Rd}} = 0,79 \leq 1$$

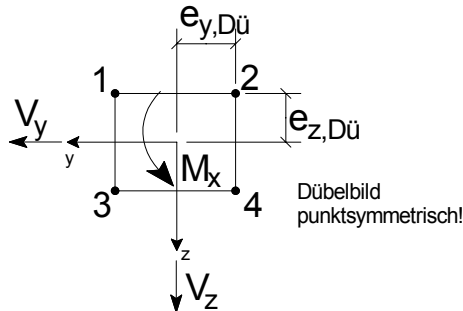
Verbundunsicherung

hier (außerhalb der Krafterleitung) ohne Nachweis durch konstruktive Verdübelung in Längsrichtung...z.b.: je ein Kopfbolzen pro Seite im Abstand 1 m. Alternierend dazu S-Haken durch Bohrungen gesteckt um den Bügelkorb zu halten. Bügelbew. nach DIN EN 1992-1-1, 9.5.3



Nachweis der Krafteinleitung

| | |
|---|----------|
| Anteile der Einwirkungen, die über den Stahlquerschnitt in die Verbundstütze eingeleitet werden | |
| $\Delta F_{1G} =$ | 450 kN |
| $\Delta F_{2G} =$ | 300 kN |
| $\Delta F_{1Q} =$ | 187,5 kN |
| $\Delta F_{2Q} =$ | 150 kN |



Punktequerschnitt der Dübelgruppe

Gesamtanzahl und Lage der Dübel im Lasteinleitungsbereich (vgl. Skizze)

| | |
|--------------|-------|
| $n_{Dü} =$ | 8,0 |
| $e_{z,Dü} =$ | 75 mm |
| $e_{y,Dü} =$ | 75 mm |

Bemessungswerte der Einwirkungen

$$N_{Ed} = \gamma_G \cdot (\Delta F_{1G} + \Delta F_{2G}) + \gamma_Q \cdot (\Delta F_{1Q} + \Delta F_{2Q}) = 1519 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = \gamma_G \cdot \Delta F_{2G} \cdot e + \gamma_Q \cdot \Delta F_{2Q} \cdot e = 189 \text{ kNm}$$

Teilschnittgrößen, die anteilig auf den Beton zu übertragen sind

Zwischenrechnung: Ermittlung der vollplastischen Momententragfähigkeit ($N_{Ed} = 0$)

⇒ plastische neutrale Achse liegt im Bereich 1



Software zur Dokumentation und Berechnung

cmaster

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

Bei der Dübelgruppe handelt es sich um einen Punktequerschnitt nach [s. Kommentar]]

Für eine Kammer erhält man folgende Schnittgrößen:

| | | | |
|-------------------------|---|---|---------------------|
| $V_z =$ | $N_{Ed,red} / 2$ | = | 178 kN |
| $M_x =$ | $-M_{c-s,Ed} / 2$ | = | -15 kNm |
| Für die Eckpunkte gilt: | | | |
| $A =$ | $n_{Dü} / 2$ | = | 4 |
| $I_p =$ | $(4 \cdot e_{y,Dü}^2 + 4 \cdot e_{z,Dü}^2) \cdot 10^{-2}$ | = | 450 cm ² |
| $T_y =$ | $0 - M_x \cdot 10 / I_p \cdot e_{z,Dü}$ | = | 25,0 kN |
| $T_z =$ | $V_z / A - M_x \cdot 10 / I_p \cdot e_{z,Dü}$ | = | 69,5 kN |
| $T =$ | $\sqrt{(T_y^2 + T_z^2)}$ | = | 73,9 kN |

Nachweis

$$T / P_{Rd} = 0,89 \leq 1$$



Brandschutznachweis nach Tab. 4.6, DIN EN 1992-1-2, 4.2.3.3

Nachweis um die schwache Querschnittsachse, vereinfacht als zentrischer Druckstab

$$\begin{aligned} \text{Kombinationsfaktor } \psi_{1,1} &= 0,50 \\ \text{Bemessungswert der maßgebenden Einwirkungskombination im Brandfall} \\ E_{fi,d,t} &= 1,0 \cdot (F_{1G} + F_{2G}) + 1,0 \cdot \psi_{1,1} \cdot (F_{1Q} + F_{2Q}) = 2550 \text{ kN} \\ \text{Bemessungswert der Tragfähigkeit bei Normaltemperatur} \\ \chi &= \text{TAB("EC4_de/chi";c;\lambda=\bar{\lambda})} = 0,646 \\ R_d &= \chi \cdot N_{pl,Rd} = 4733 \text{ kN} \end{aligned}$$

Ermittlung der Eingangswerte für die Tabelle:

$$\begin{aligned} \text{Lastausnutzung im Brandfall} \\ \eta_{fi,t} &= E_{fi,d,t} / R_d = \mathbf{0,54} \\ \text{Mindestbewehrungsgrad} \\ A_s / (A_c + A_s) \cdot 10^2 &= \mathbf{2,62 \%} \\ \text{Mindestabstand der Bewehrungsstäbe} \\ u_s &= \text{MIN}(u_{sy}; u_{sz}) = \mathbf{50 \text{ mm}} \\ \text{Mindestquerschnittsabmessung: } \text{MIN}(h;b) &= \mathbf{300 \text{ mm}} \\ \text{Mindestverhältnis von Steg- zu Flanschdicke} \\ 0,5 / (t_w / t_f) &= \mathbf{0,86 \leq 1} \end{aligned}$$

Gemäß Tab. 4.6 ergibt sich eine **Feuerwiderstandsklasse R30**

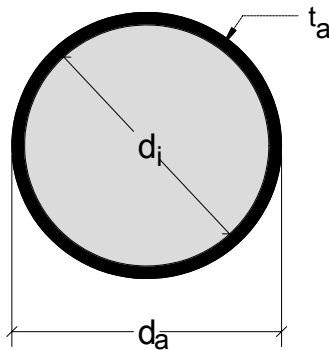
Tabelle 4.6 — Mindestquerschnittsabmessungen, Mindestachsabstand der Bewehrung und Mindestbewehrungsgrad von Verbundstützen mit Kammerbeton

| Feuerwiderstandsklasse | | R30 | R60 | R90 | R120 |
|------------------------|--|-----|-----|-----|------|
| 1 | Mindestquerschnittsabmessungen für den Lastausnutzungsfaktor $\eta_{fi,t} \leq 0,28$ | | | | |
| 1.1 | Mindestabmessungen h und b in mm | 160 | 200 | 300 | 400 |
| 1.2 | Mindestachsabstand der Bewehrungsstäbe u_s in mm | - | 50 | 50 | 70 |
| 1.3 | Mindestbewehrungsgrad $A_s / (A_c + A_s)$ in % | - | 4 | 3 | 4 |
| 2 | Mindestquerschnittsabmessungen für den Lastausnutzungsfaktor $\eta_{fi,t} \leq 0,47$ | | | | |
| 2.1 | Mindestabmessungen h und b in mm | 160 | 300 | 400 | - |
| 2.2 | Mindestachsabstand der Bewehrungsstäbe u_s in mm | - | 50 | 70 | - |
| 2.3 | Mindestbewehrungsgrad $A_s / (A_c + A_s)$ in % | - | 4 | 4 | - |
| 3 | Mindestquerschnittsabmessungen für den Lastausnutzungsfaktor $\eta_{fi,t} \leq 0,66$ | | | | |
| 3.1 | Mindestabmessungen h und b in mm | 160 | 400 | - | - |
| 3.2 | Mindestachsabstand der Bewehrungsstäbe u_s in mm | 40 | 70 | - | - |
| 3.3 | Mindestbewehrungsgrad $A_s / (A_c + A_s)$ in % | 1 | 4 | - | - |

Die in den Tabellen 4.2, 4.4, 4.6 und 4.7 angegebenen Zahlenwerte sind Mindestmaße für die brandschutztechnische Bemessung. Sie gelten zusätzlich zu den Bewehrungsregeln nach DIN EN 1992-1-1.

Betongefüllte runde Hohlprofilstütze

vereinfachter Nachweis nach DIN EN 1994-1-1, 6.7.3; hier ohne Ansatz der Bewehrung



Vorgaben

Geometrie
Stützweite $L =$ 7,00 m

Einwirkungen

ständige Einwirkung
 $F_G =$ 500 kN

veränderliche Einwirkung
 $F_Q =$ 600 kN

Bemessungswert der maßgebenden Einwirkungskombination:

$\gamma_G =$ 1,35

$\gamma_Q =$ 1,50

$N_{Ed} = \gamma_G \cdot F_G + \gamma_Q \cdot F_Q =$ 1575 kN

Querschnitt und Baustoffe

Stahlrohr:

Rohr = GEW("ec4_de/R"; ID;) = R 273x6.3

Stahl = GEW("ec4_de/mat"; ID;) = S 355

Beton

Beton = GEW("ec4_de/beton_ec2"; Bez;) = C30/37

Querschnittswerte, Baustoffkennwerte

Stahlrohr:

$d_a =$ TAB("ec4_de/R"; d; ID=Rohr) = 273,0 mm

$t_a =$ TAB("ec4_de/R"; t; ID=Rohr) = 6,30 mm

$d_i =$ $d_a - 2 \cdot t_a$ = 260,4 mm

$A_a =$ TAB("ec4_de/R"; A; ID=Rohr) = 52,80 cm²

$f_{ay} =$ TAB("ec4_de/mat"; f_{yk} ; ID=Stahl)/10 = 35,5 kN/cm²

$f_{ad} =$ $f_{ay} / 1,1$ = 32,3 kN/cm²

$I_a =$ TAB("ec4_de/R"; I; ID=Rohr) = 4696 cm⁴

$E_a =$ TAB("ec4_de/mat"; E; ID=Stahl)/10 = 21000 kN/cm²

Beton:

$f_{ck} =$ TAB("ec4_de/beton_ec2"; f_{ck} ; Bez=Beton)/10 = 3,00 kN/cm²

$E_{cm} =$ TAB("ec4_de/beton_ec2"; E_{cm} ; Bez=Beton)/10 = 3300 kN/cm²

$f_{cd} =$ $f_{ck} / 1,5$ = 2,00 kN/cm²

$A_c =$ $\pi / 4 \cdot d_i^2 \cdot 10^{-2}$ = 532,6 cm²

$I_c =$ $\pi / 64 \cdot d_i^4 \cdot 10^{-4}$ = 22570 cm⁴

Endkriechzahl φ nach DIN EN1992-1-1:wirksame Bauteildicke h_0 :

$$u = \pi \cdot d_i \cdot 10^{-1} = 81,8 \text{ cm}$$

$$h_0 = 2 \cdot A_c / u \cdot 10 = 130,2 \text{ mm}$$

| Wirksames Betonalter t_0 (in Tagen) | mittlere Dicke h_0 [mm] | | | | | |
|--|--|-----|-----|--|-----|-----|
| | 50 | 150 | 600 | 50 | 150 | 600 |
| | Lage des Bautei ls | | | | | |
| | trocken, in Innenräumen (rel. Luftfeuchtigkeit 50%) | | | feucht, im freien (rel. Luftfeuchtigkeit 80%) | | |
| 1 | 5,5 | 4,6 | 3,7 | 3,6 | 3,2 | 2,9 |
| 7 | 3,9 | 3,1 | 2,6 | 2,6 | 2,3 | 2,0 |
| 28 | 3,0 | 2,5 | 2,0 | 1,9 | 1,7 | 1,5 |
| 90 | 2,4 | 2,0 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,2 |
| 365 | 1,8 | 1,5 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,0 |

$$\varphi_t = 2,90$$

$$\varphi_t = 0,25 \cdot \varphi_t = 0,72$$

$$N_{G,Ed} = \gamma_G \cdot F_G = 675 \text{ kN}$$

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \frac{N_{G,Ed}}{N_{Ed}} \cdot \varphi_t} = 2522 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweise gegen örtliches Beulen (DIN EN 1994-1-1; Tabelle 6.3)**Nachweis der Tragfähigkeit der Stütze**

Normalkrafttragfähigkeit des Querschnitts (ohne Berücksichtigung der Bewehrung)

$$N_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{ad} + 1,0 \cdot A_c \cdot f_{cd} = 2771 \text{ kN}$$

Prüfung der Anwendbarkeit des Nachweisverfahrens;

$$\delta = A_a \cdot f_{ad} / N_{pl,Rd} = 0,62$$

$$0,2 / \delta = 0,32 \leq 1$$

$$\delta / 0,9 = 0,69 \leq 1$$



Berechnung der Verzweigungslast:

$$EI_{\text{eff}} = (E_a \cdot I_a + 0,6 \cdot E_{c,\text{eff}} \cdot I_c) \cdot 10^{-4} = 13277 \text{ kNm}^2$$

$$N_{\text{cr}} = \frac{\pi^2 \cdot EI_{\text{eff}}}{L^2} = 2674 \text{ kN}$$

Berechnung des bezogenen Schlankheitsgrades:

$$N_{\text{pl,Rk}} = A_a \cdot f_{ay} + A_c \cdot f_{ck} = 3472 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{\text{pl,Rk}}}{N_{\text{cr}}}} = 1,139$$

$$\bar{\lambda} / 2,0 = \underline{\underline{0,57 \leq 1}}$$

Überprüfung der Umschnürungswirkung des Rundhohlprofils:

$$n_{a0} = \text{MIN}(0,25 \cdot (3 + 2 \cdot \bar{\lambda}); 1,0) = 1,00$$

$$n_{c0} = \text{MAX}(4,9 - 18,5 \cdot \bar{\lambda} + 17 \cdot \bar{\lambda}^2; 0) = 5,88$$

$$N_{\text{pl,Rd},\dot{u}} = n_{a0} \cdot A_a \cdot f_{ad} + A_c \cdot f_{cd} \cdot \left(1 + n_{c0} \cdot \frac{t_a}{d_a} \cdot \frac{f_{ay}}{f_{ck}}\right) = 4481,0 \text{ kN}$$

⇒ anzusetzende vollplastische Normalkraft:

$$N_{\text{pl,Rd}} = \text{WENN}(\bar{\lambda} \leq 0,5; N_{\text{pl,Rd},\dot{u}}; N_{\text{pl,Rd}}) = \underline{\underline{2771,0 \text{ kN}}}$$

Abminderungsfaktor χ (Knickspannungslinie a)

$$\chi = \text{TAB}(\text{"EC4_de/chi"; a; } \bar{\lambda}) = 0,570$$

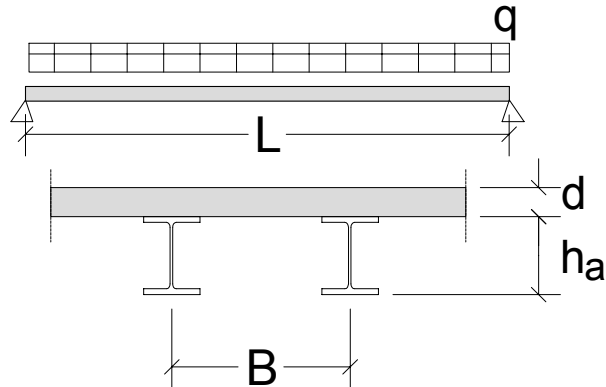
Nachweis:

$$\frac{N_{\text{Ed}}}{\chi \cdot N_{\text{pl,Rd}}} = \underline{\underline{1,00 \leq 1}}$$



Kapitel Verbundträger

Vorbemessung Einfeld-Verbundträger



Vorgaben:

| | | |
|--------------------------|----------------------------------|-----------|
| Trägerstützweite L = | 16 m | |
| Trägerabstand B = | 3,6 m | |
| Ausbaulast g = | 2,0 kN/m ² | |
| Verkehrslast q = | 5,0 kN/m ² | |
| Profil | | |
| Träger Typ1 = | GEW("ec4_de/Profile";ID;) | = IPE |
| Profil ID1 = | GEW("ec4_de/Typ1; ID;) | = IPE 600 |
| Trägergeometrie: | | |
| Höhe h = | TAB("ec4_de/Typ1;h;ID=ID1) / 10 | = 60,0 cm |
| Breite b = | TAB("ec4_de/Typ1;b;ID=ID1) / 10 | = 22,0 cm |
| Steg t _w = | TAB("ec4_de/Typ1;tw;ID=ID1) / 10 | = 1,20 cm |
| Flansch t _f = | TAB("ec4_de/Typ1;tf;ID=ID1) / 10 | = 1,90 cm |



Software zur Dokumentation und Berechnung

master

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

Vorbemessung für S355:

| | | |
|--|---|-----------------|
| erforderliche Deckenstärke | | |
| d = | MAX(8 + 1,7 * B; 12) | = 14,12 cm |
| erforderliche Bauhöhe des Stahlträgers | | |
| h _a = | 0,8 * (1,5 + 0,13 * (g + q)) * L * √(B) | = 58,53 cm |
| Kontrolle: | | |
| h _a / h | = | <u>0,98 ≤ 1</u> |



Brandschutz durch Kammerbeton:

Voraussetzungen:

$$18 / (b / t_w) = \underline{0,98 \leq 1}$$

$$(t_f / t_w) / 2 = \underline{0,79 \leq 1}$$

⇒ F60:

$$b_{\min} = 0,9 * (34 - 5 * h / b) = 18,3 \text{ cm}$$

$$b_{\min} / b = \underline{0,83 \leq 1}$$

⇒ F90:

$$b_{\min} = (34 - 5 * h / b) = 20,4 \text{ cm}$$

$$b_{\min} / b = \underline{0,93 \leq 1}$$

⇒ F120:

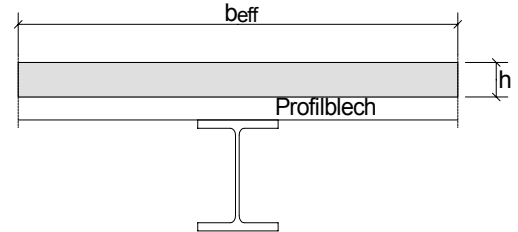
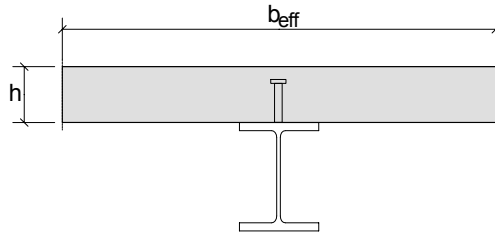
$$b_{\min} = 1,25 * (34 - 5 * h / b) = 25,5 \text{ cm}$$

$$b_{\min} / b = \underline{1,16 \leq 1}$$



Kriechzahl und Schwindmaß eines Verbundträgers

Endkriechzahl $\varphi_{(\infty, t_0)}$ und Endschwindmaß $\varepsilon_{cs, \infty}$ sind vorzugeben...z.b. Nomogramme aus DIN EN 1992-1-1, (Näherungswerte siehe Ende Vorlage)



Vorgaben

| | | |
|---|---|---------------------------|
| effektive Breite b_{eff} = | | 3000 mm |
| Betondicke h = | | 160 mm |
| Trapezblech; Ja \Rightarrow 1; Nein \Rightarrow 0; Tr = | | 0 |
| Zementklasse ZK = | GEW("ec4_de/Zem"; Z;) | = N R |
| Beton = | GEW("ec4_de/beton_ec2"; Bez;) | = C25/30 |
| f_{ck} = | TAB("ec4_de/beton_ec2"; fck; Bez=Beton) | = 25,00 N/mm ² |
| f_{cm} = | TAB("ec4_de/beton_ec2"; fcm; Bez=Beton) | = 33,00 N/mm ² |
| relative Luftfeuchte RH = | | 50 % |
| Belastungsbeginn t_0 = | | 28 Tage |
| Austrocknungsbeginn t_s = | | 3 Tage |
| ges. Kriechzahl nach t_k = | | 90 Tage |
| ges. Schwindmaß nach t_{sch} = | | 90 Tage |

Kriechzahl nach $t = t_k$ und $t = \infty$ Tagen



Software zur Dokumentation und Berechnung

cmaster

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

$$\varphi_{RH} = \text{WENN}(f_{cm} \leq 35; 1 + \frac{1 - RH/100}{0,1 * (3 \sqrt{h_0})}; \left(1 + \frac{1 - RH/100}{0,1 * (3 \sqrt{h_0})} * \alpha_1\right) * \alpha_2) = 1,92$$

$$\beta_{fcm} = 16,8 / \sqrt{(f_{cm})} = 2,925$$

$$t_{0,T} = t_0 = 28 \text{ Tage}$$

$$t_{0,eff} = \text{MAX}\left(t_{0,T} * \left(\frac{9}{2 + t_{0,T}} + 1\right)^{1,2}; 0,5\right) = 28,0 \text{ Tage}$$

$$\beta_{t_0} = \frac{1}{0,1 + t_{0,eff}^{0,2}} = 0,5 \text{ Tage}$$



$$\beta_{H,1} = \text{MIN}(1,5 * (1 + (0,012 * RH)^{18}) * h_0 + 250; 1500) = 490$$

$$\beta_{H,2} = \text{MIN}(1,5 * (1 + (0,012 * RH)^{18}) * h_0 + 250 * \alpha_3; 1500 * \alpha_3) = 490$$

$$\beta_H = \text{WENN}(f_{cm} \leq 35; \beta_{H,1}; \beta_{H,2}) = 490$$

$$\beta_{c,t,t_0} = \left(\frac{(t_K - t_0)}{\beta_H + t_K - t_0} \right)^{0,3} = 0,52$$

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} * \beta_{fcm} * \beta_{t_0} = 2,81$$

Kriechzahl nach $t = t_K$ Tagen:

$$\varphi_{t,t_0} = \varphi_0 * \beta_{c,t,t_0} = 1,46$$

Schwindmaße nach $t = t_s$ und $t = \infty$ Tagen



Endschwindmaß nach $t = \infty$

$$\beta_{ds,t_{ts}} = \sqrt{\frac{t_{sch} - t_s}{(t_{sch} - t_s) + 0,04 * \sqrt{h_0^3}}} = 0,72$$

Exponenten zur Berücksichtigung der Zementart:

$$\alpha_{ds1} = \text{TAB}("ec4_de/Zem"; \alpha_{ds1}; Z=ZK) = 4$$

$$\alpha_{ds2} = \text{TAB}("ec4_de/Zem"; \alpha_{ds2}; Z=ZK) = 0,12$$

Grundwert des Trocknungsschwindens $\varepsilon_{cd,0}$

$$\beta_{RH} = 1,55 * \left(1 - \left(\frac{RH}{100} \right)^3 \right) = 1,36$$

$$\varepsilon_{cd,0} = 0,85 * ((220 + 110 * \alpha_{ds1}) * 2,718281828^{(-\alpha_{ds2} * f_{cm}/10)}) * 10^{-6} * \beta_{RH} = 5,13 * 10^{-4}$$

$$k_h = \text{TAB}("ec4_de/kh"; kh; h_0=h_0) = 0,91$$

Trocknungsschwinddehnung zum Zeitpunkt t_{sch}

$$\varepsilon_{cd,t,ts} = \beta_{ds,t_{ts}} * k_h * \varepsilon_{cd,0} = 3,361 * 10^{-4}$$



Gesamtschwinddehnung des Betons zum Zeitpunkt t_{sch} :

$$\epsilon_{cs} = (\epsilon_{ca,t} - \epsilon_{cd,t,ts}) * 10^3 = \underline{\underline{-0,37 \text{ ‰}}}$$

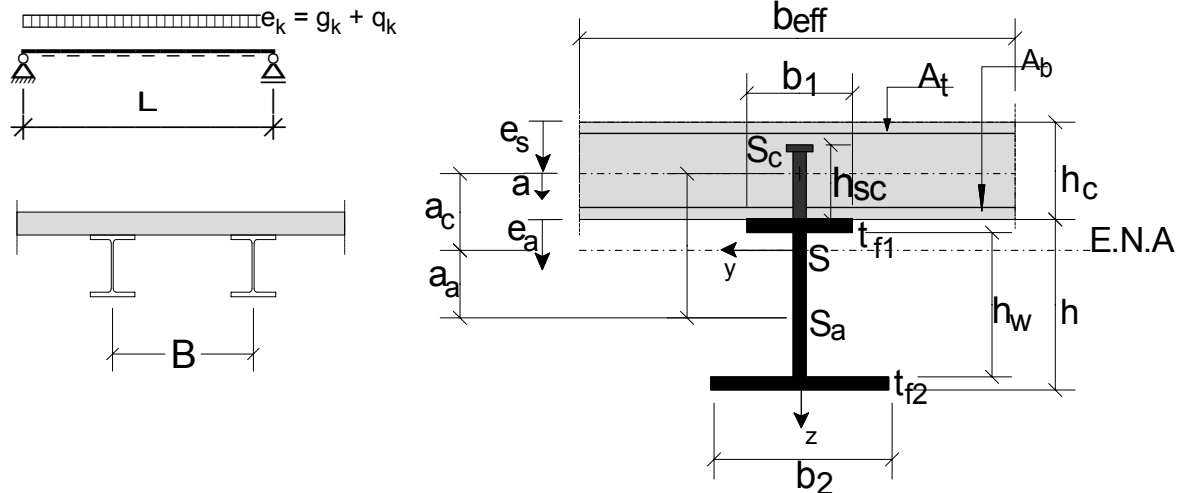
Werte für Endkriechzahlen $\varphi_{t,\infty}$

| Wirksames Betonalter t_0 (in Tagen) | mittlere Dicke h_0 [mm] | | | | | |
|--|--|-----|-----|--|-----|-----|
| | 50 | 150 | 600 | 50 | 150 | 600 |
| | Lage des Bauteils | | | | | |
| | trocken, in Innenräumen (rel. Luftfeuchtigkeit 50%) | | | feucht, im freien (rel. Luftfeuchtigkeit 80%) | | |
| 1 | 5,5 | 4,6 | 3,7 | 3,6 | 3,2 | 2,9 |
| 7 | 3,9 | 3,1 | 2,6 | 2,6 | 2,3 | 2,0 |
| 28 | 3,0 | 2,5 | 2,0 | 1,9 | 1,7 | 1,5 |
| 90 | 2,4 | 2,0 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,2 |
| 365 | 1,8 | 1,5 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,0 |

Einfeldträger mit elastischer Grenztragfähigkeit

DIN EN 1994-1-1:2010-12; Stahlprofil: geschweißter Träger; Ortbetondecke; vollständige Verdübelung; Herstellung mit Eigengewichtsverbund; ausreichend unterstützt und gegen Biegedrillknicken gesichert; Nachweisverfahren Elastisch- Elastisch

System



Vorgabewerte

Geometrie

| | |
|-------------------|---------|
| Stützweite L = | 10,00 m |
| Trägerabstand B = | 3,00 m |
| Ortbeton h_c = | 160 mm |

Beton

| | | | |
|-----------------|--|---|-------------------------|
| Beton = | GEW("ec4_de/beton_ec2"; Bez;) | = | C20/25 |
| f_{ck} = | TAB("ec4_de/beton_ec2"; fck; Bez=Beton) | = | 20,00 N/mm ² |
| E_{cm} = | TAB("ec4_de/beton_ec2"; Ecm; Bez=Beton) | = | 30000 N/mm ² |
| f_{cd} = | TAB("ec4_de/beton_ec2"; fcd; Bez=Beton) | = | 11,33 N/mm ² |
| f_{ctm} = | TAB("ec4_de/beton_ec2"; fctm; Bez=Beton) | = | 2,20 N/mm ² |
| $\tau_{c,Rd}$ = | $0,397 * f_{ctm}$ | = | 0,87 N/mm ² |
| γ_C = | | = | 1,50 |

Stahl

| | | | |
|-------------------------------|---|---|----------------------------|
| Stahl = | GEW("ec4_de/mat"; ID;) | = | S 235 |
| Trägerbreite oben b_1 = | | = | 200,0 mm |
| Flanschdicke oben t_{f1} = | | = | 12,0 mm |
| Profilbreite unten b_2 = | | = | 300,0 mm |
| Flanschdicke unten t_{f2} = | | = | 20,0 mm |
| Stegdicke t_w = | | = | 10,0 mm |
| Trägerhöhe h = | | = | 432,0 mm |
| Nahtdicke a_w = | | = | 8,0 mm |
| Steghöhe h_w = | $h - t_{f1} - t_{f2}$ | = | 400,0 mm |
| E_a = | TAB("ec4_de/mat"; E; ID=Stahl)/10 | = | 21000,0 kN/cm ² |
| $f_{y,k}$ = | TAB("ec4_de/mat"; f_{yk} ; ID=Stahl)/10 | = | 23,5 kN/cm ² |
| f_{yd} = | $f_{y,k} / 1,0$ | = | 23,5 kN/m ² |
| $\tau_{a,Rd}$ = | $f_{yd} / \sqrt{3}$ | = | 13,57 kN/cm ² |
| $f_{u,k}$ = | TAB("ec4_de/mat"; f_{uk} ; ID=Stahl)/10 | = | 36,00 kN/cm ² |

| | | | |
|-----------------|-------------------------------|---|------|
| ε = | $\sqrt{\frac{23,5}{f_{y,k}}}$ | = | 1,00 |
|-----------------|-------------------------------|---|------|



Sicherheitsbeiwerte:

$$\gamma_{M0} = 1,0$$

$$\gamma_{M1} = 1,1$$

Betonstahl

$$f_{sk} = 500 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{sd} = f_{sk} / 1,15 = 435 \text{ N/mm}^2$$

$$E_s = 20000 \text{ kN/cm}^2$$

Querbewehrung:

$$\text{Abstand } e_{Ls} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{gew. } d_{sq} = \text{GEW}(\text{"ec4_de/As"; ds ;}) = 10 \text{ mm}$$

Verdübelung

duktiler Kopfbolzendübel

$$\text{Schaftdurchmesser } d = 22,0 \text{ mm}$$

$$\text{Dübelgesamtlänge } h_{sc} = 125,0 \text{ mm}$$

$$\text{Zugfestigkeit } f_u = 500 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{Rd} = 72,50 \text{ kN}$$

Belastung

$$\text{Ausbaulasten } g_a = 2,00 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Nutzlast } q_{k1} = 5,00 \text{ kN/m}^2$$

Einwirkungen

ständige Lasten

$$\text{Betonplatte } g_{k1} = B \cdot h_c \cdot 25 \cdot 10^{-3} = 12,00 \text{ kN/m}$$

Stahlträger

$$A_a = (b_1 \cdot t_{f1} + b_2 \cdot t_{f2} + h_w \cdot t_w) / 100 = 124,00 \text{ cm}^2$$

$$\text{Stahlträger } g_{k2} = A_a \cdot 78,5 \cdot 10^{-4} = 0,97 \text{ kN/m}$$

$$\text{Ausbaulasten } g_{k3} = g_a \cdot B = 6,00 \text{ kN/m}$$

$$\text{Eigengewicht } g_k = g_{k1} + g_{k2} + g_{k3} = 18,97 \text{ kN/m}$$

veränderliche Einwirkungen

$$\text{Verkehrslast } q_k = q_{k1} \cdot B = 15,00 \text{ kN/m}$$

Einstufung des Querschnitts

Elastisch - Elastisch: Es ist mind. die Querschnittsklasse 3 erforderlich

$$c t_{\max} = 72 \cdot \varepsilon = 72,00$$

$$c t_{\text{vorh}} = h_w / t_w = 40,00$$

$$c t_{\text{vorh}} / c t_{\max} = 0,56 \leq 1$$

Mitwirkende Breite des Betongurtes

in Feldmitte; $b_{\text{eff}} = b_0 + \sum b_{ei}$

$$b_0 = 0,00 \text{ mm}$$

$$b_{ei} = \text{MIN}(L / 8; B/2) = 1,250 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff}} = b_0 + 2 \cdot b_{ei} = 2,500 \text{ m}$$



Querschnittswerte

Lage des Schwerpunktes des Stahlquerschnitts:

$$e_a = \frac{b_1 * t_{f1} * \frac{t_{f1}}{2} + h_w * t_w * \left(\frac{h_w}{2} + t_{f1}\right) + b_2 * t_{f2} * \left(h - \frac{t_{f2}}{2}\right)}{A_a * 1000} = 27,4 \text{ cm}$$

$$I_{a1} = \left(b_1 * \frac{t_{f1}^3}{12} + t_w * \frac{h_w^3}{12} + b_2 * \frac{t_{f2}^3}{12} \right) * 10^{-4} = 5356 \text{ cm}^4$$

$$I_{a2} = \left(b_1 * t_{f1} * \left(\frac{t_{f1}}{2}\right)^2 + t_w * h_w * \left(\frac{h_w}{2} + t_{f1}\right)^2 + b_2 * t_{f2} * \left(h - \frac{t_{f2}}{2}\right)^2 \right) * 10^{-4} = 124837 \text{ cm}^4$$

Flächenmoment 2. Grades

$$I_a = (I_{a1} + I_{a2}) - A_a * e_a^2 = 37099 \text{ cm}^4$$

Biegesteifigkeit EI des Verbundträgers

Endkriechzahl $\varphi(\infty, t_0)$ ermittelt z.B. aus EC2-1-1, 3.1.4: Bild 3.1 b)

$$\varphi_{\infty, t_0} = 3,40$$

Endschwindmaß nach $t = \infty$

$$\varepsilon_{cs\infty} = -0,550 \text{ ‰}$$

$$\psi_2 = 0,30$$

Es gilt näherungsweise $h_c = h_1$.

$$EI_a = E_a * I_a * 10^{-4} = 77908 \text{ kNm}^2$$

Betongurt:

$$A_c = b_{\text{eff}} * h_c * 10 = 4000 \text{ cm}^2$$

$$I_c = 1/12 * b_{\text{eff}} * h_c^3 * 10^{-1} = 85333 \text{ cm}^2$$

Kurzzeitige Beanspruchung: Index 0



Konstante ständige Beanspruchung: Index P

$$n_{cP} = 1 + 1,10 * \varphi_{\infty, t_0} = 4,74$$

$$E_P = E_{cm} / n_{cP} * 10^{-1} = 633 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_c = b_{\text{eff}} * h_c * 10 = 4000 \text{ cm}^2$$

$$a = e_a + h_c / 2 * 10^{-1} = 35,4 \text{ cm}$$

$$a_a = \frac{E_P * A_c}{E_a * A_a + E_P * A_c} * a = 17,5 \text{ cm}$$

$$e_{S,P} = e_a + h_c / 10 - a_a = 25,9 \text{ cm}$$

$$h_c * 10^{-1} / e_{S,P} = \underline{\underline{0,62 \leq 1}}$$



⇒ Der Schwerpunkt des Verbundträgers liegt im Stahlträger.

$$I_c = 1/12 * b_{eff} * h_c^3 * 10^{-1} = 85333 \text{ cm}^4$$

$$EI_P = E_a * I_a + E_P * I_c + \left(\frac{E_a * A_a * E_P * A_c}{E_a * A_a + E_P * A_c} \right) * a^2 * 10^{-4} = 244184 \text{ kNm}^2$$

Primäre und sekundäre Beanspruchung aus dem Schwinden: Index S

$$n_{cS} = 1 + 0,55 * \varphi_{\infty, t0} = 2,870$$

$$E_S = E_{cm} / n_{cS} * 10^{-1} = 1045 \text{ kN/cm}^2$$

$$EA_S = E_a * A_a + E_S * A_c = 6,784 * 10^6 \text{ kN}$$

$$a_a = \frac{E_S * A_c}{E_a * A_a + E_S * A_c} * a = 21,8 \text{ cm}$$

$$e_{S,S} = e_a + h_c / 10 - a_a = 21,6 \text{ cm}$$

$$h_c * 10^{-1} / e_{S,S} = \underline{0,74 \leq 1}$$

⇒ Der Schwerpunkt des Verbundträgers liegt im Stahlträger.

$$EI_S = E_a * I_a + E_S * I_c + \left(\frac{E_a * A_a * E_S * A_c}{E_a * A_a + E_S * A_c} \right) * a^2 * 10^{-4} = 287891 \text{ kNm}^2$$

Nachweis des Biegemomentes

Zeitpunkt t = 0

Maßgebende Biegesteifigkeit EI_0

Bemessungswert der maßgebenden Einwirkungskombination:

Teilsicherheitsbeiwerte

$$\gamma_G = 1,35$$

$$\gamma_Q = 1,50$$

$$e_d = \gamma_G * g_k + \gamma_Q * q_k = 48,1 \text{ kN/m}$$

Schnittgrößenermittlung:

$$V_{Ed} = 0,5 * e_d * L = 240,5 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = e_d * L^2 / 8 = 601,3 \text{ kNm}$$

$$z_{0,6} = (h + h_c) * 10^{-1} - e_{S,0} = 45,0 \text{ cm}$$

$$\sigma_{a0} = E_a * \frac{M_{Ed}}{EI_0} * z_{0,6} * 10^{-2} = 15,26 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{a0} / f_{yd} = \underline{0,65 \leq 1}$$

$$z_{0,1} = 0 - e_{S,0} = -14,2 \text{ cm}$$

$$\sigma_{c0} = E_0 * \frac{M_{Ed}}{EI_0} * z_{0,1} * 10^{-2} = -0,69 \text{ kN/cm}^2$$

$$ABS(\sigma_{c0}) / f_{cd} * 10 = \underline{0,61 \leq 1}$$

Zeitpunkt t = ∞

Maßgebende Biegesteifigkeit EI_P

$$z_{P,6} = (h + h_c) * 10^{-1} - e_{S,P} = 33,3 \text{ cm}$$

$$\sigma_{aP} = E_a * \frac{M_{Ed}}{EI_P} * z_{P,6} * 10^{-2} = 17,22 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{aP} / f_{yd} = \underline{0,73 \leq 1}$$

$$z_{P,1} = 0 - e_{S,P} = -25,9 \text{ cm}$$

$$\sigma_{cP} = E_P * \frac{M_{Ed}}{EI_P} * z_{P,1} * 10^{-2} = -0,40 \text{ kN/cm}^2$$

$$ABS(\sigma_{cP}) / f_{cd} * 10 = \underline{0,35 \leq 1}$$



Schwinden:

Für die Beanspruchung des Verbundträgers durch Schwinden wird die volle Gurtbreite berücksichtigt.



$$\sigma_{cS} = E_s \cdot \frac{N}{EA_s} + E_s \cdot \frac{M}{EI_s} \cdot z_{s,1} \cdot 10^{-2} + \frac{N_{cs}}{A_c} = -0,03 \text{ kN/cm}^2$$

Überlagerung zum Zeitpunkt t = ∞:

$$\sigma_a = \sigma_{aP} + \sigma_{aS} = 18,96 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_a / f_{yd} = \underline{0,81 \leq 1}$$

$$\sigma_c = \sigma_{cP} + \sigma_{cS} = -0,43 \text{ kN/cm}^2$$

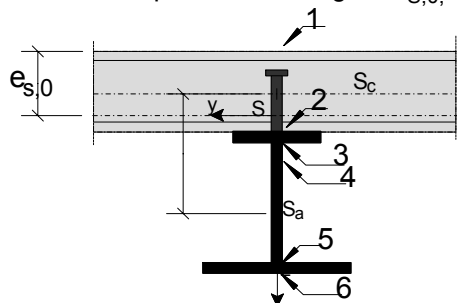
$$ABS(\sigma_c) / f_{cd} \cdot 10 = \underline{0,38 \leq 1}$$

Nachweis der Querkraft

Die Schubspannung ist zeitabhängig.

Zeitpunkt t = 0:

hier: Schwerpunkt im Betongurt, $e_{S,0}$; $S_i = A_i \cdot e_i$



$$e_{S,0} = e_{S,0} = 14,20 \text{ cm}$$

Punkt 4:

$$\Sigma E_i S_i = E_0 \cdot b_{eff} \cdot 10^2 \cdot e_{S,0}^2 / 2 = 7562 \cdot 10^4 \text{ kNcm}$$

$$\tau_c = V_{Ed} \cdot \Sigma E_i S_i / (EI_0 \cdot b_{eff}) \cdot 10^{-6} = 0,0195 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_c / \tau_{c,Rd} \cdot 10 = \underline{0,22 \leq 1}$$

Punkt 5:

$$e_5 = (h + h_c - t_2 / 2) \cdot 10^{-1} - e_{S,0} = 44,0 \text{ cm}$$

$$\Sigma E_i S_i = E_a \cdot b_2 \cdot t_2 \cdot e_5 \cdot 10^{-2} = 5544 \cdot 10^4 \text{ kNcm}$$

$$\tau_a = V_{Ed} \cdot \Sigma E_i S_i / (EI_0 \cdot t_w) \cdot 10^{-3} = 3,58 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_a / \tau_{a,Rd} = \underline{0,26 \leq 1}$$

Punkt 3:

$$e_3 = (h_c + t_1 + h_w / 2) \cdot 10^{-1} - e_{S,0} = 23,0 \text{ cm}$$

$$\Sigma E_i S_i = \Sigma E_i S_i + E_a \cdot t_w \cdot h_w \cdot e_3 \cdot 10^{-2} = 7476 \cdot 10^4 \text{ kNcm}$$

$$\tau_a = V_{Ed} \cdot \Sigma E_i S_i / (EI_0 \cdot t_w) \cdot 10^{-3} = 4,83 \text{ kN/cm}^2$$

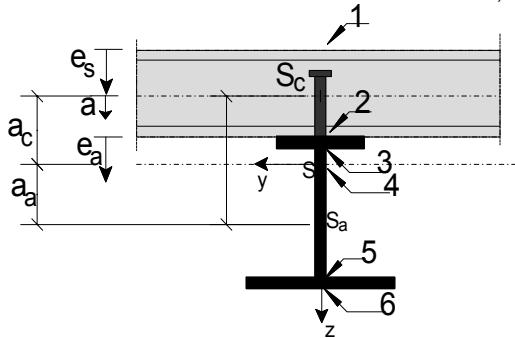
$$\tau_a / \tau_{a,Rd} = \underline{0,36 \leq 1}$$

Im allgemeinen wird die Querkraft nur dem Stahlquerschnitt zugewiesen. Für die maximale Schubspannung gilt dann für den Schwerpunkt des Stahlträgers:

$$\begin{aligned}
 e_{3a} &= (h - e_a \cdot 10 - t_{f2} / 2) &= & 148 \text{ mm} \\
 \Sigma E_i S_i &= E_a \cdot (b_2 \cdot t_{f2} \cdot e_{3a} + t_w \cdot (h - e_a \cdot 10)^2 / 2) \cdot 10^{-3} &= & 2127 \cdot 10^4 \text{ kNcm} \\
 \tau_a &= V_{Ed} \cdot \Sigma E_i S_i / (E I_a \cdot t_w) \cdot 10^{-3} &= & 6,57 \text{ kN/cm}^2 \\
 \tau_a / \tau_{a,Rd} &= &= & \underline{0,48 \leq 1}
 \end{aligned}$$

Zeitpunkt $t = \infty$:

hier: Schwerpunkt im Stahlquerschnitt, $e_{S,P}$



$$e_{S,P} = e_{S,P} \cdot 10 = 259 \text{ mm}$$

Punkt 2:

$$\begin{aligned}
 e_{s2} &= e_{S,P} - h_c / 2 &= & 179 \text{ mm} \\
 e_{s2} &= h - e_{S,P} + t_{f1} / 2 &= & 179 \text{ mm} \\
 \Sigma E_i S_i &= E_P \cdot A_c \cdot e_{s2} \cdot 10^{-1} &= & 4532 \cdot 10^4 \text{ kNcm} \\
 \tau_c &= V_{Ed} \cdot \Sigma E_i S_i / (E I_P \cdot b_{eff}) \cdot 10^{-6} &= & 0,0179 \text{ kN/cm}^2 \\
 \tau_c / \tau_{c,Rd} \cdot 10 &= &= & \underline{0,21 \leq 1}
 \end{aligned}$$

Punkt 3:

$$\begin{aligned}
 e_3 &= (e_{S,P} - h_c - t_{f1} / 2) &= & 93,0 \text{ mm} \\
 \Sigma E_i S_i &= \Sigma E_i S_i + E_a \cdot (b_1 \cdot t_{f1} \cdot e_3) \cdot 10^{-3} &= & 5001 \cdot 10^4 \text{ kNcm} \\
 \tau_a &= V_{Ed} \cdot \Sigma E_i S_i / (E I_P \cdot t_w) \cdot 10^{-3} &= & 4,93 \text{ kN/cm}^2 \\
 \tau_a / \tau_{a,Rd} &= &= & \underline{0,36 \leq 1}
 \end{aligned}$$

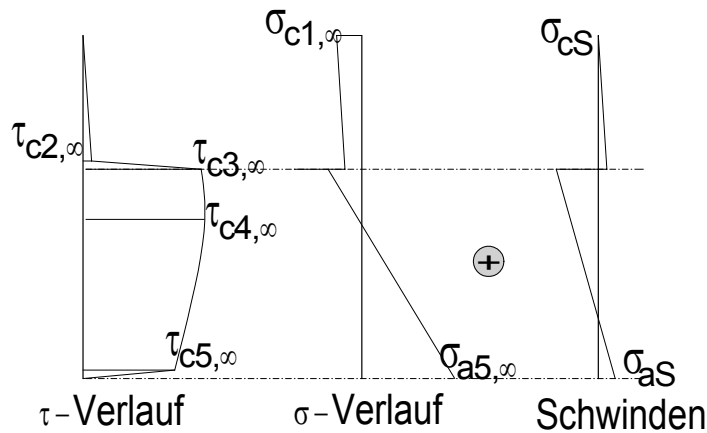
Punkt 4:

$$\begin{aligned}
 e_4 &= (e_{S,P} - (e_{S,P} - h_c - t_{f1})) / 2 &= & 86 \text{ mm} \\
 \Sigma E_i S_i &= \Sigma E_i S_i + E_a \cdot t_w \cdot e_4^2 / 2 \cdot 10^{-3} &= & 5079 \cdot 10^4 \text{ kNcm} \\
 \tau_a &= V_{Ed} \cdot \Sigma E_i S_i / (E I_P \cdot t_w) \cdot 10^{-3} &= & 5,00 \text{ kN/cm}^2 \\
 \tau_a / \tau_{a,Rd} &= &= & \underline{0,37 \leq 1}
 \end{aligned}$$

Punkt 5:

$$\begin{aligned}
 e_5 &= (h + h_c - t_{f2} / 2) - e_{S,P} &= & 323,0 \text{ cm} \\
 \Sigma E_i S_i &= E_a \cdot b_2 \cdot t_{f2} \cdot e_5 \cdot 10^{-3} &= & 4070 \cdot 10^4 \text{ kNcm} \\
 \tau_a &= V_{Ed} \cdot \Sigma E_i S_i / (E I_P \cdot t_w) \cdot 10^{-3} &= & 4,01 \text{ kN/cm}^2 \\
 \tau_a / \tau_{a,Rd} &= &= & \underline{0,30 \leq 1}
 \end{aligned}$$

Zum Zeitpunkt $t = \infty$ tritt die maximale Schubspannung im Stahlträger auf. Spannungsverlauf zum Zeitpunkt $t = \infty$...siehe Grafik.

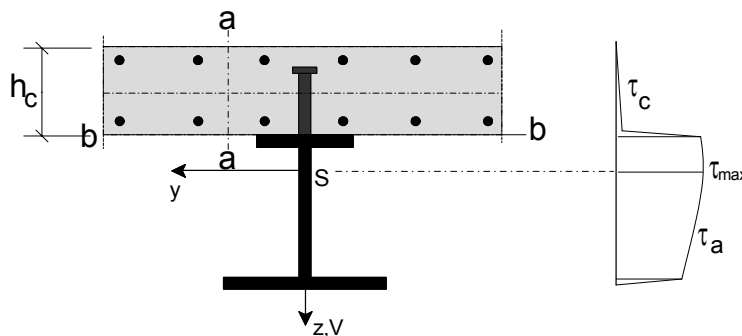


Biegedrillknicken

hier ohne weiteren Nachweis - im Bauzustand gehalten.

Verdübelung

Längsschubkräfte zeitabhängig, hier ist der Zeitpunkt $t = 0$ maßgebend! Ermittlung der Längsschubkräfte pro Längeneinheit in der Verbundfuge $b-b$ aus den Schubspannungen τ :



$$\begin{aligned}
 h_{c,eff} &= \text{WENN}(e_{S,0} < h_c; e_{S,0}; h_c) &= & 14,2 \text{ cm} \\
 \Sigma E_i S_i &= E_0 * b_{eff} * 10^2 * h_{c,eff} * e_{S,0} / 2 &= & 7562 * 10^4 \text{ kNcm} \\
 v_{L,Ed} &= V_{Ed} * \Sigma E_i S_i / E I_0 * 10^{-4} &= & 4,89 \text{ kN/cm}^2
 \end{aligned}$$

gewählte Anzahl und Anordnung der Dübel

gew. $n =$

30 Dübel gew.

Abstand $e_L =$

140 mm gew.

$$v_{Rd} = P_{Rd} / e_L * 10 = 5,18 \text{ kN/cm}$$

$$v_{L,Ed} / v_{Rd} = \underline{\underline{0,94 \leq 1}}$$

$$V_{L,Ed} = 0,5 * v_{L,Ed} * L / 2 * 10^2 = 1223 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = n * P_{Rd} = 2175 \text{ kN}$$

$$v_{Rd} = P_{Rd} / e_L * 10 = 5,18 \text{ kN/cm}$$

Überprüfung des Dübelabstands

$$5 * d / e_L = \underline{\underline{0,79 \leq 1}}$$

$$e_L / 800 = \underline{\underline{0,17 \leq 1}}$$

$$e_L / (6 * h_c) = \underline{\underline{0,15 \leq 1}}$$



Längsschubtragfähigkeit des Betongurtes Plattenanschnitt *b-b*

Querbewehrung für die Querbiegung:

$$A_t = \frac{\pi \cdot d_{sq}^2}{4 \cdot e_{Ls}} \cdot 10 = 5,24 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_b = A_t = 5,24 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{f,vorh} = A_t + A_b = 10,48 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Druckstrebenachweis:

$$l_f = (2 \cdot h_{sc} + 1,5 \cdot d) \cdot 10^{-1} = 28,3 \text{ cm}$$

$$v_{Rd,c} = 0,369 \cdot l_f \cdot f_{cd} \cdot 10^{-1} = 11,83 \text{ kN/cm}$$

$$v_{L,Ed} / v_{Rd,c} = 0,41 \leq 1$$

Zugstrebenachweis:

$$A_{f,erf} = v_{L,Ed} / (1,2 \cdot f_{sd}) \cdot 10^3 = 9,37 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{f,erf} / A_{f,vorh} = 0,89 \leq 1$$

Plattenanschnitt *a-a*

Ermittlung der Längsschubkräfte pro Längeneinheit in der Verbundfuge *a - a* aus den Schubspannungen τ

$$v_{L,Ed} = V_{Ed} \cdot \Sigma E_i S_i / EI_0 \cdot 0,5 \cdot 10^{-4} = 2,44 \text{ kN/cm}^2$$

Druckstrebenachweis:

$$l_f = h_c \cdot 10^{-1} = 16,0 \text{ cm}$$

$$v_{Rd,c} = 0,369 \cdot l_f \cdot f_{cd} \cdot 10^{-1} = 6,69 \text{ kN/cm}$$

$$v_{L,Ed} / v_{Rd,c} = 0,36 \leq 1$$

Zugstrebenachweis:

$$A_{f,erf} = v_{L,Ed} / (1,2 \cdot f_{sd}) \cdot 10^3 = 4,67 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{f,erf} / A_{f,vorh} = 0,45 \leq 1$$

Die erforderliche Bewehrung ist je zur Hälfte auf die Ober- und Unterseite der Ortbetonschicht zu verteilen. Verankerung nach DIN EN 1992-1-1, 8.4

gew. Querbewehrung oben und unten **Ø10 / 15**

Konzentrierte Längsschubkraft an den Betongurten

$$\sigma_a = E_a \cdot \frac{N}{EA_S} + E_a \cdot \frac{M}{EI_S} \cdot \frac{h}{2} \cdot 10^{-1} = -2,63 \text{ kN/cm}^2$$

$$N_{a,s} = \sigma_a \cdot A_a = -326 \text{ kN}$$

$$v_{L,Ed} = 2 \cdot N_{a,s} / b_{eff} \cdot 10^{-2} = -2,61 \text{ kN/cm}$$

Die Dübelkräfte werden im Endbereich um $P_{d,s}$ reduziert

$$P_{d,s} = ABS(v_{L,Ed}) \cdot e_L \cdot 10^{-1} = 36,54 \text{ kN}$$

Kein weiterer Nachweis erforderlich.



Nachweis der Durchbiegung

Verformungsanteile

Durchbiegung des Verbundträgers infolge der quasi-ständigen einseitigen Verkehrslast zum Zeitpunkt $t = 0$;

$$f_1 = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot L^4}{E_0} \cdot 10^2 = 0,66 \text{ cm}$$

Durchbiegung des Verbundträgers infolge der quasi-ständigen Verkehrslast zum Zeitpunkt $t = 0$;

$$f_{2,1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{\psi_2 \cdot q_k \cdot L^4}{E_0} \cdot 10^2 = 0,16 \text{ cm}$$

durch Kriechen und Schwinden unter quasi-ständigen Einwirkungen zum Zeitpunkt $t = \infty$. Dieser Verformungsanteil ist die Differenz der Durchbiegung zum Zeitpunkt $t = \infty$ und dem Zeitpunkt $t = 0$.

$$f_{2,2} = \left(\frac{5}{384} \cdot \frac{(g_k + \psi_2 \cdot q_k) \cdot L^4}{E_p} - \frac{5}{384} \cdot \frac{(g_k + \psi_2 \cdot q_k) \cdot L^4}{E_0} \right) \cdot 10^2 = 0,43 \text{ cm}$$

Schwinden:

$$f_{2,3} = \frac{1}{8} \cdot M \cdot \frac{L^2}{E_{ls}} \cdot 10^2 = 1,63 \text{ cm}$$

Nachgiebigkeit in der Verbundfuge



Nachweis der Eigenfrequenz

Berücksichtigung von Eigengewicht und Biegesteifigkeit des Verbundträgers unter Kurzzeitbelastung

$$v_0 = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot L^4}{E_0} \cdot 10^2 = 0,664 \text{ cm}$$

$$f = \frac{5,6}{\sqrt{v_0}} = 6,87 \text{ Hz}$$

Empfohlene Werte siehe z.B. Eurocode 3 (März 1994)...unterste Eigenfrequenz für regelmäßig begangene Decken ≥ 3 Hz; Turnhallen o.ä. ≥ 5 Hz

Begrenzung der Rißbreite

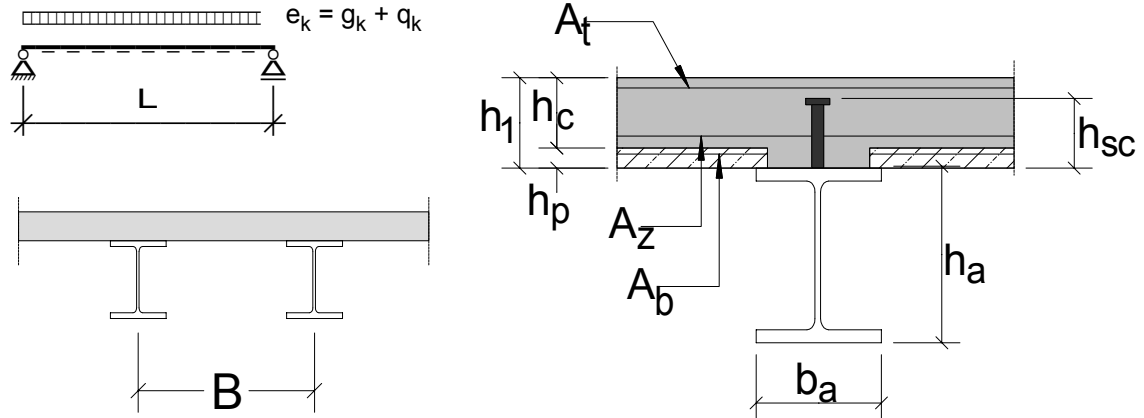
Nachweis entfällt beim Einfeldträger!

Es ist eine Mindestbewehrung einzulegen.

Einfeldträger mit Filigranplatte und teilweiser Verdübelung

DIN EN 1994-1-1:2010-12; I-Profil; Ortbetondecke mit Filigranplatte; teilweise Verdübelung; Herstellung mit Eigengewichtsverbund; ausreichend unterstützt und gegen Biegedrillknicken gesichert; Nachweisverfahren Elastisch-Plastisch

System



Vorgabewerte

Geometrie

| | | |
|---|---|---------|
| Stützweite L = | | 12,00 m |
| Trägerabstand B = | | 3,00 m |
| Ortbeton h_c = | | 110 mm |
| Filigranplatte h_p = | | 50 mm |
| Auflagertiefe der Filigranplatte hier: 3,5 cm | | |
| ⇒ Gesamtstärke Decke $h_1 = h_c + h_p$ | = | 160 mm |

Beton

| | | | |
|--------------|---|---|-------------------------|
| Beton = | GEW("ec4_de/beton_ec2"; Bez;) | = | C25/30 |
| f_{ck} = | TAB("ec4_de/beton_ec2"; fck;Bez=Beton) | = | 25,00 N/mm ² |
| E_{cm} = | TAB("ec4_de/beton_ec2"; Ecm;Bez=Beton) | = | 31000 N/mm ² |
| f_{cd} = | TAB("ec4_de/beton_ec2"; fcd;Bez=Beton) | = | 14,17 N/mm ² |
| f_{ctm} = | TAB("ec4_de/beton_ec2"; fctm;Bez=Beton) | = | 2,60 N/mm ² |
| γ_C = | | | 1,50 |

Stahl

| | | | |
|---------|-------------------------|---|-------|
| Stahl = | GEW("ec4_de/mat"; ID;) | = | S 355 |
|---------|-------------------------|---|-------|

Wahl des Stahlprofils

| | | | |
|--------------|---------------------------|---|---------|
| Typ1 = | GEW("ec4_de/Profile";ID;) | = | IPE |
| Profil ID1 = | GEW("ec4_de/"Typ1; ID;) | = | IPE 450 |

| | | | |
|-------------|--|---|----------------------------|
| E_a = | TAB("ec4_de/mat"; E; ID=Stahl)/10 | = | 21000,0 kN/cm ² |
| $f_{y,k}$ = | TAB("ec4_de/mat"; $f_{y,k}$; ID=Stahl)/10 | = | 35,5 kN/cm ² |
| f_{yd} = | $f_{y,k} / 1,0$ | = | 35,5 kN/cm ² |

| | | | |
|-------------|--|---|-------------------------|
| $f_{u,k}$ = | TAB("ec4_de/mat"; $f_{u,k}$; ID=Stahl)/10 | = | 51,0 kN/cm ² |
|-------------|--|---|-------------------------|

| | | | |
|-----------------|-------------------------------|---|------|
| ε = | $\sqrt{\frac{23,5}{f_{y,k}}}$ | = | 0,81 |
|-----------------|-------------------------------|---|------|

Betonstahl

| | | | |
|------------|-----------------|---|--------------------------|
| f_{sk} = | | = | 500 N/mm ² |
| f_{sd} = | $f_{sk} / 1,15$ | = | 435 N/mm ² |
| E_s = | | | 20000 kN/cm ² |

Querbewehrung:

| | | |
|---------------------------|--|-------------------------|
| Querbew. oben a_{q1} = | | 2,57 cm ² /m |
| Querbew. unten a_{q2} = | | 2,57 cm ² /m |



Verdübelung

| | |
|-----------------------------|-----------------------|
| duktiler Kopfbolzendübel | |
| Schaftdurchmesser $d =$ | 22,0 mm |
| Dübelgesamtlänge $h_{sc} =$ | 125,0 mm |
| Zugfestigkeit $f_u =$ | 500 N/mm ² |
| $P_{Rd} =$ | 82,40 kN |

Belastung

| | |
|----------------------|------------------------|
| Ausbaulasten $g_a =$ | 2,00 kN/m ² |
| Nutzlast $q_{k1} =$ | 5,00 kN/m ² |

Einwirkungen

| | | | |
|----------------------------|--------------------------------------|---|-------------------|
| ständige Lasten | | | |
| Betonplatte $g_{k1} =$ | $B \cdot h_1 \cdot 25 \cdot 10^{-3}$ | = | 12,00 kN/m |
| Stahlträger $g_{k2} =$ | TAB("ec4_de"/"Typ1; g; ID=ID1) | = | 0,78 kN/m |
| Ausbaulasten $g_{k3} =$ | $g_a \cdot B$ | = | 6,00 kN/m |
| Eigengewicht $g_k =$ | $g_{k1} + g_{k2} + g_{k3}$ | = | 18,78 kN/m |
| veränderliche Einwirkungen | | | |
| Verkehrslast $q_k =$ | $q_{k1} \cdot B$ | = | 15,00 kN/m |

Bemessungswert der maßgebenden Einwirkungskombination:

| | | | |
|-------------------------|---|---|-------------------|
| Teilsicherheitsbeiwerte | | | |
| $\gamma_G =$ | | | 1,35 |
| $\gamma_Q =$ | | | 1,50 |
| Tragsicherheit | | | |
| $e_d =$ | $\gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_k$ | = | 47,85 kN/m |

Querschnittswerte

| | | | |
|-----------------|------------------------------------|---|-----------------------|
| Stahlprofil: | | | |
| Höhe $h_a =$ | TAB("ec4_de"/"Typ1; h; ID=ID1) | = | 450,00 mm |
| Breite $b_a =$ | TAB("ec4_de"/"Typ1; b; ID=ID1) | = | 190,00 mm |
| Steg $t_w =$ | TAB("ec4_de"/"Typ1; tw; ID=ID1) | = | 9,40 mm |
| Flansch $t_f =$ | TAB("ec4_de"/"Typ1; tf; ID=ID1) | = | 14,60 mm |
| Radius $r =$ | TAB("ec4_de"/"Typ1; r; ID=ID1) | = | 21,00 mm |
| $A_v =$ | TAB("ec4_de"/"Typ1; Avz; ID=ID1) | = | 50,82 cm ² |
| $A_a =$ | TAB("ec4_de"/"Typ1; A; ID=ID1) | = | 98,80 cm ² |
| ctG = | TAB("ec4_de"/"Typ1; ctG; ID=ID1) | = | 4,75 |
| ctS = | TAB("ec4_de"/"Typ1; ctS; ID=ID1) | = | 40,30 |
| starke Achse | | | |
| $I_a =$ | TAB("ec4_de"/"Typ1; ly; ID=ID1) | = | 33740 cm ⁴ |
| $W_{pl,a} =$ | TAB("ec4_de"/"Typ1; W_ply; ID=ID1) | = | 1702 cm ³ |
| $S_y =$ | TAB("ec4_de"/"Typ1; S_y; ID=ID1) | = | 851 cm ³ |

Mitwirkende Breite des Betongurtes

| | | | |
|---|------------------------|---|--------|
| in Feldmitte; $b_{eff} = b_0 + \sum b_{ei}$ | | | |
| $b_0 =$ | | | 0,0 mm |
| $b_{ei} =$ | MIN(L / 8; B/2) | = | 1,50 m |
| $b_{eff} =$ | $b_0 + 2 \cdot b_{ei}$ | = | 3,00 m |



Einstufung des Querschnitts:

Flansch:

$$Q_{K_{Fl}} = \text{WENN}(ctG \leq 9 * \epsilon; 1; \text{WENN}(ctG \leq 10 * \epsilon; 2; \text{WENN}(ctG \leq 14 * \epsilon; 3; 4))) = 1$$

Steg:



Schnittgrößenermittlung

$$M_{Ed} = e_d * L^2 / 8 = 861,3 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 0,5 * e_d * L = 287,1 \text{ kN}$$

Verdübelung

für vollständige Verdübelung

$$V_{L,Ed} = \text{MIN}(A_a * f_{yd}; b_{eff} * h_c * f_{cd}) = 3507 \text{ kN}$$

$$N_{c,f} = V_{L,Ed} = 3507 \text{ kN}$$

erforderliche Anzahl je Trägerhälfte

$$n_f = V_{L,Ed} / P_{Rd} = 42,6 \text{ Dübel}$$

für teilweise Verdübelung

Mindestverdübelungsgrad (Prüfung der Randbedingungen nach DIN EN 1994-1-1:2010-12; 6.6.1.2 (3))

$$\eta_{min} = \text{WENN}(L > 25; 1; \text{MAX}(1 - (35,5 / f_{y,k}) * (0,75 - 0,03 * L); 0,4)) = 0,61$$

gewählte Anzahl und Anordnung der Dübel

$$\text{gew. } n = 30 \text{ Dübel gew.}$$

$$\text{Abstand } e_L = 200 \text{ mm gew.}$$

$$\eta = n / n_f = 0,70$$

$$\eta_{min} / \eta = 0,87 \leq 1$$

$$V_{L,Ed} = n * P_{Rd} = 2472 \text{ kN}$$

$$e_{L,erf} = L * 10^3 / (2 * n) = 200 \text{ mm}$$

Überprüfung des Dübelabstands

$$e_{L,erf} / e_L = 1,00 \leq 1$$

$$5 * d / e_L = 0,55 \leq 1$$

$$e_L / 800 = 0,25 \leq 1$$

$$e_L / (6 * h_1) = 0,21 \leq 1$$



Beanspruchbarkeit des Querschnitts

$$\text{Quertragfähigkeit} \\ A_v = A_v = 50,82 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 1041,6 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} / V_{pl,Rd} = 0,28 \leq 1$$

Nachweis gegen Schubbeulen kann entfallen, wenn:

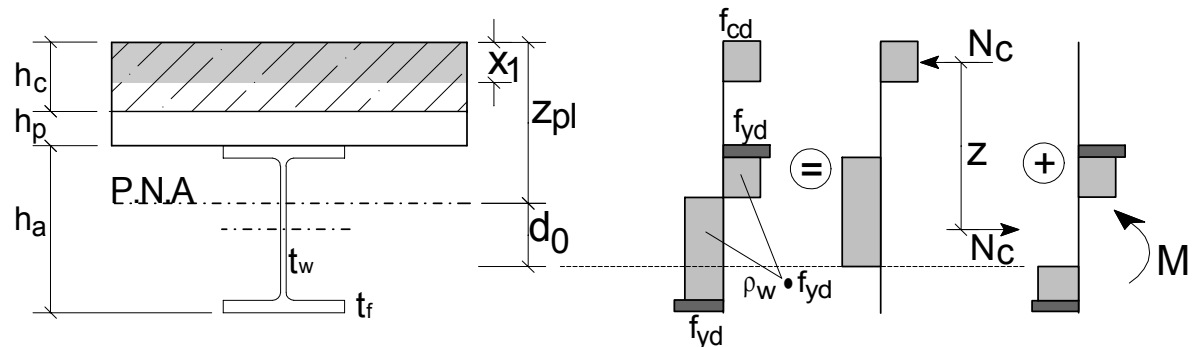
$$ctS \cdot 1,0 / (72 \cdot \epsilon) = 0,69 \leq 1$$

Nachweis Biegung und Querkraft:

$$\rho_{Ed} = \left(2 \cdot \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 = 0,201$$

$$\rho = \text{WENN}(V_{Ed} / V_{pl,Rd} \leq 0,5; 0; \rho_{Ed}) = 0,000$$

Fall: Plastische neutrale Achse (PNA) liegt im Steg des Stahlträgers



Teilweise Verdübelung



Software zur Dokumentation und Berechnung

cmaster

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

$$W_{pl,f} = \left(b_a \cdot t_f \cdot \left(\frac{h_a}{2} - \frac{t_f}{4} \right) + (b_a - t_w - 2 \cdot r) \cdot t_f \cdot \left(\frac{h_a}{2} - \frac{3}{4} \cdot t_f \right) \right) \cdot 10^{-3} = 1047 \text{ cm}^3$$

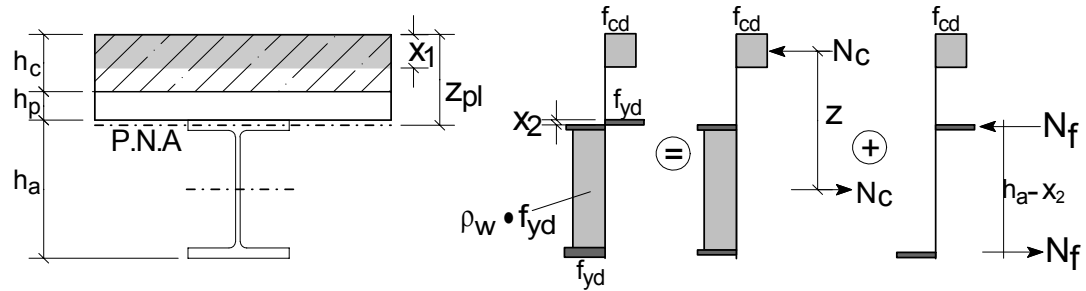
$$M_{pl,f,Rd} = W_{pl,f} \cdot f_{yd} \cdot 10^{-2} = 372 \text{ kNm}$$

$$M_{a,V,Rd} = M_{pl,f,Rd} + (M_{pl,a,Rd} - M_{pl,f,Rd}) \cdot (1 - \rho) = 604 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = (N_c \cdot z \cdot 10^{-1} + M_{a,V,Rd} \cdot 10^2 - 0,25 \cdot t_w \cdot d_0^2 \cdot 10^{-3} \cdot (1 - \rho) \cdot f_{yd}) \cdot 10^{-2} = 1026,0 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} / M_{Rd} = 0,84 \leq 1$$

Fall: Plastische neutrale Achse (PNA) liegt im Flansch des Stahlträgers



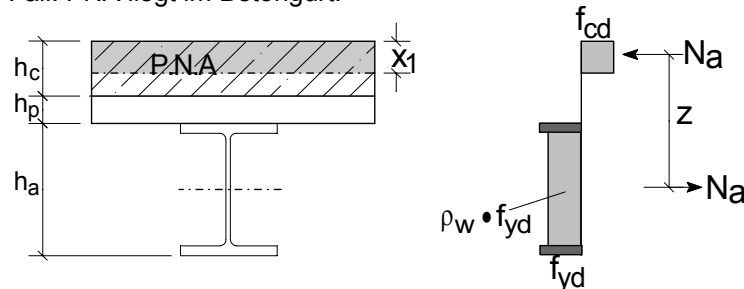
Teilweise Verdübelung

$$\begin{aligned}
 N_c &= n \cdot P_{Rd} &= 2472,0 \text{ kN} \\
 N_a &= (A_a - \rho \cdot A_v) \cdot f_{yd} &= 3507,4 \text{ kN} \\
 N_f &= (N_a - N_c) / 2 &= 517,7 \text{ kN} \\
 x_1 &= N_c / (b_{eff} \cdot f_{cd}) &= 58,2 \text{ mm} \\
 x_1 / h_c & &= \underline{0,53 \leq 1} \\
 x_2 &= N_f / (b_a \cdot f_{yd}) \cdot 10^2 &= 7,7 \text{ mm} \\
 x_2 / t_f & &= \underline{0,53 \leq 1} \\
 z &= h_c \cdot \frac{x_1}{2} + h_p + \frac{h_a}{2} &= 355,9 \text{ mm} \\
 z_{pl} &= h_c + h_p + x_2 &= 167,7 \text{ mm} \\
 M_{Rd} &= (N_c \cdot z + N_f \cdot (h_a - x_2)) \cdot 10^{-3} &= \mathbf{1108,8 \text{ kNm}} \\
 M_{Ed} / M_{Rd} & &= \underline{0,78 \leq 1}
 \end{aligned}$$

Für die gleichmäßige Verteilung der Dübel muss nachgewiesen werden $M_{pl,Rd} / M_{pl,a,Rd} \leq 2,5$:

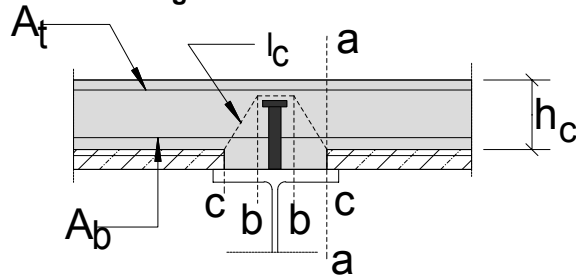
$$M_{pl,a,Rd} = W_{pl,a} \cdot f_{yd} \cdot 10^{-2} = 604,2 \text{ kNm}$$

Fall: PNA liegt im Betongurt:



$$\begin{aligned}
 N_{pl,a,Rd} &= A_a \cdot f_{yd} &= 3507 \text{ kN} \\
 x_1 &= \frac{N_{pl,a,Rd}}{b_{eff} \cdot f_{cd}} &= 82,5 \text{ mm} \\
 x_1 / h_c & &= \underline{0,75 \leq 1} \\
 z &= h_c \cdot \frac{x_1}{2} + h_p + \frac{h_a}{2} &= 344 \text{ mm} \\
 M_{pl,Rd} &= N_{pl,a,Rd} \cdot z \cdot 10^{-3} &= \mathbf{1206 \text{ kNm}} \\
 v &= M_{pl,Rd} / M_{pl,a,Rd} &= 2,00 \\
 v / 2,5 & &= \underline{0,80 \leq 1}
 \end{aligned}$$

Längsschub im Betongurt



Querbewehrung für die Querbiegung

$$\begin{aligned}
 A_t &= a_{q1} &= & 2,57 \text{ cm}^2/\text{m} \\
 A_b &= a_{q2} &= & 2,57 \text{ cm}^2/\text{m} \\
 a_v &= 0,5 \cdot L \cdot 10^2 &= & 600 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Bemessungswert der vollen Längsschubkraft pro Längeneinheit für die Dübelumrissfläche

$$v_{L,Ed} = V_{L,Ed} / a_v = 4,12 \text{ kN/cm}$$

Längsschubtragfähigkeit in der Dübelumrissfläche des Schnittes c-c

Nachweis der Druckstrebe:

$$\begin{aligned}
 l_c &= \sqrt{(0,5 \cdot (b_a - 2 \cdot 35 - 1,5 \cdot d))^2 + (h_{sc} - h_p)^2} &= & 86,7 \text{ mm} \\
 l_{fc} &= 2 \cdot l_c + 1,5 \cdot d &= & 206,4 \text{ mm} \\
 l_{fb} &= 2 \cdot h_{sc} + 1,5 \cdot d &= & 283,0 \text{ mm} \\
 l_f &= \text{MIN}(l_{fb}; l_{fc}) &= & 206,4 \text{ mm} \\
 v &= \text{WENN}(f_{ck} \leq 50; 0,75; 0,75 \cdot (1,1 - f_{ck} / 500)) &= & 0,75 \\
 \cot \Theta &= 1,20 \\
 \Theta_f &= \text{ATAN}(1 / \cot \Theta) &= & 39,81^\circ \\
 v_{Rd,c} &= v \cdot l_f \cdot f_{cd} \cdot \text{SIN}(\Theta_f) \cdot \text{COS}(\Theta_f) \cdot 10^{-2} &= & 10,79 \text{ kN/cm} \\
 v_{L,Ed} / v_{Rd,c} &= &= & \underline{0,38 \leq 1}
 \end{aligned}$$

Zugstrebenachweis

Software zur Dokumentation und Berechnung

cmaster

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

$$v_{L,Ed} = \frac{V_{L,Ed}}{a_v} \cdot \frac{b_a}{b_{eff}} = 2,06 \text{ kN/cm}$$

Längsschubtragfähigkeit am Plattenanschnitt des Schnittes a-a.

Nachweis der Druckstrebe:

$$\begin{aligned}
 l_f &= h_c &= & 110 \text{ mm} \\
 v &= \text{WENN}(f_{ck} \leq 50; 0,75; 0,75 \cdot (1,1 - f_{ck} / 500)) &= & 0,75 \\
 \cot \Theta &= 1,20 \\
 \Theta_f &= \text{ATAN}(1 / \cot \Theta) &= & 39,81^\circ \\
 v_{Rd,c} &= v \cdot l_f \cdot f_{cd} \cdot \text{SIN}(\Theta_f) \cdot \text{COS}(\Theta_f) \cdot 10^{-2} &= & 5,75 \text{ kN/cm} \\
 v_{L,Ed} / v_{Rd,c} &= &= & \underline{0,36 \leq 1}
 \end{aligned}$$



Zugstrebenachweis:

$$A_{f,erf} = \frac{v_{L,Ed}}{(1,2 \cdot f_{sd}) \cdot 10^3} = 3,95 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$(A_{f,erf} / 2) / A_t = \underline{0,77 \leq 1}$$

$$(A_{f,erf} / 2) / A_z = \underline{0,50 \leq 1}$$

Die erforderliche Bewehrung ist je zur Hälfte auf die Ober- und Unterseite der Ortbetonschicht zu verteilen. Sofern obige Nachweise < 1, ist die Bewehrung aus Querbiegung maßgebend. Die untere Hälfte wird durch A_z abgedeckt. Die Verankerung erfolgt nach DIN EN 1992-1-1, 8.4.

Nachweis der Durchbiegung

hier: im Bauzustand = 0, da Stahlträger unterstützt. Es gilt $\gamma_F = 1,0$ und γ_M

Endkriechzahl $\varphi(\infty, t_0)$ ermittelt z.B. aus EC2-1-1, 3.1.4: Bild 3.1 b)

$$\varphi_{\infty, t_0} = 2,89$$

Endschwindmaß nach $t = \infty$

$$\varepsilon_{cs\infty} = -0,537 \text{ ‰}$$

$$\psi_2 = 0,30$$

Biegesteifigkeit EI des Verbundträgers

Es gilt näherungsweise $h_c = h_1$.

Stahlträger:

$$EI_a = E_a \cdot I_a \cdot 10^{-4} = 70854 \text{ kNm}^2$$

Betongurt:

$$A_c = b_{eff} \cdot h_1 \cdot 10 = 4800 \text{ cm}^2$$

$$I_c = 1/12 \cdot b_{eff} \cdot h_1^3 \cdot 10^{-1} = 102400 \text{ cm}^2$$

Abstand der Schwerpunkte von Betongurt und Stahlträger:



Verformungsanteile

Durchbiegung des Verbundträgers infolge der quasi-ständigen einseitigen Verkehrslast zum Zeitpunkt $t = 0$;

$$f_1 = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot L^4}{EI_0} \cdot 10^2 = 1,86 \text{ cm}$$

Durchbiegung des Verbundträgers infolge der quasi-ständigen Verkehrslast zum Zeitpunkt $t = 0$;

$$f_{2,1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{\psi_2 \cdot q_k \cdot L^4}{EI_0} \cdot 10^2 = 0,45 \text{ cm}$$

durch Kriechen und Schwinden unter quasi-ständigen Einwirkungen zum Zeitpunkt $t = \infty$. Dieser Verformungsanteil ist die Differenz der Durchbiegung zum Zeitpunkt $t = \infty$ und dem Zeitpunkt $t = 0$.

$$f_{2,2} = \left(\frac{5}{384} \cdot \frac{(g_k + \psi_2 \cdot q_k) \cdot L^4}{EI_p} - \frac{5}{384} \cdot \frac{(g_k + \psi_2 \cdot q_k) \cdot L^4}{EI_0} \right) \cdot 10^2 = 0,83 \text{ cm}$$



Schwinden:

$$N_{cs} = -\varepsilon_{cs\infty} \cdot E_S \cdot B \cdot h_1 \cdot 10^{-2} = 3085,4 \text{ kN}$$

$$a_{cS} = \frac{E_a \cdot A_a}{E_a \cdot A_a + E_S \cdot A_c} \cdot a_1 = 8,09 \text{ cm}$$

$$M_{cs} = N_{cs} \cdot a_{cS} \cdot 10^{-2} = 249,6 \text{ kNm}$$

$$f_{2,3} = \frac{1}{8} \cdot M_{cs} \cdot \frac{L^2}{EI_S} \cdot 10^2 = 2,00 \text{ cm}$$

Nachgiebigkeit in der Verbundfuge

Auswirkungen können vernachlässigt werden - bei entsprechender Verdübelung und wenn $n/n_f \geq 0,5$:

$$f_2 = f_{2,1} + f_{2,2} + f_{2,3} = 3,28 \text{ cm}$$

gewählte Überhöhung:

$$\text{Überhöhung } f_0 = 4,00 \text{ cm}$$

$$f_{\max} = f_1 + f_2 - f_0 = 1,14 \text{ cm}$$

$$\frac{f_{\max}}{L/250} \cdot 10^{-2} = \underline{\underline{0,24 \leq 1}}$$

Nachweis der Eigenfrequenz

Berücksichtigung von Eigengewicht und Biegesteifigkeit des Verbundträgers unter Kurzzeitbelastung

$$v_0 = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot L^4}{EI_0} \cdot 10^2 = 1,86 \text{ cm}$$

$$f = \frac{5,6}{\sqrt{v_0}} = 4,11 \text{ Hz}$$

Empfohlene Werte siehe z.B. Eurocode 3 (März 1994)...unterste Eigenfrequenz für regelmäßig begangene Decken $\geq 3 \text{ Hz}$; Turnhallen o.ä. $\geq 5 \text{ Hz}$

Begrenzung der Rißbreite

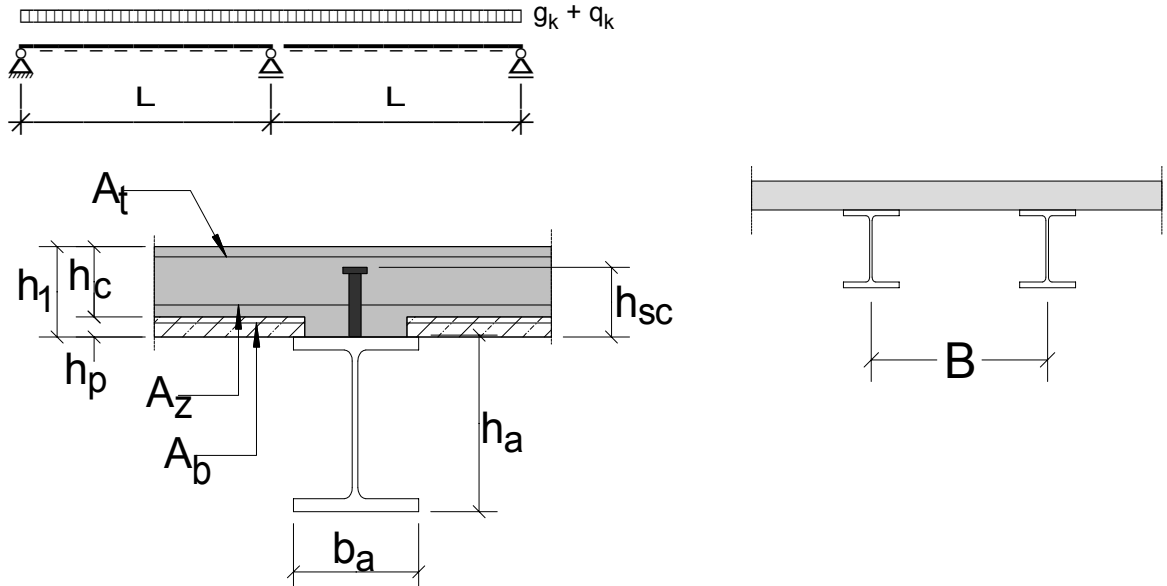
Nachweis entfällt beim Einfeldträger!

Es ist eine Mindestbewehrung einzulegen.

Zweifeldträger mit Filigranplatte und teilweiser Verdübelung

DIN EN 1994-1-1:2010-12; I-Profil; Ortbetondecke mit Filigranplatte; teilweise Verdübelung; Herstellung ohne Eigengewichtsverbund, Nachweisverfahren Plastisch-Plastisch

System



Vorgabewerte

Geometrie

| | | |
|--------------------------------------|---|---------|
| Stützweite L = | | 12,50 m |
| Trägerabstand B = | | 3,00 m |
| Ortbeton h_c = | | 110 mm |
| Filigranplatte h_p = | | 50 mm |
| Gesamtstärke Decke $h_1 = h_c + h_p$ | = | 160 mm |

Beton

| | | | |
|-------------|--|---|-------------------------|
| Beton = | GEW("ec4_de/beton_ec2"; Bez;) | = | C25/30 |
| f_{ck} = | TAB("ec4_de/beton_ec2"; fck; Bez=Beton) | = | 25,00 N/mm ² |
| E_{cm} = | TAB("ec4_de/beton_ec2"; Ecm; Bez=Beton) | = | 31000 N/mm ² |
| f_{cd} = | TAB("ec4_de/beton_ec2"; fcd; Bez=Beton) | = | 14,17 N/mm ² |
| f_{ctm} = | TAB("ec4_de/beton_ec2"; fctm; Bez=Beton) | = | 2,60 N/mm ² |

Stahl

| | | | |
|---------|-------------------------|---|-------|
| Stahl = | GEW("ec4_de/mat"; ID;) | = | S 355 |
|---------|-------------------------|---|-------|

Wahl des Stahlprofils

| | | | |
|--------------|-----------------------------|---|---------|
| Typ1 = | GEW("ec4_de/Profile"; ID;) | = | HEA |
| Profil ID1 = | GEW("ec4_de/"Typ1; ID;) | = | HEA 360 |

| | | | |
|-----------------|---|---|----------------------------|
| E_a = | TAB("ec4_de/mat"; E; ID=Stahl)/10 | = | 21000,0 kN/cm ² |
| $f_{a,k}$ = | TAB("ec4_de/mat"; f_{yk} ; ID=Stahl)/10 | = | 35,5 kN/cm ² |
| f_{yd} = | $f_{a,k} / 1,0$ | = | 35,5 kN/m ² |
| $f_{u,k}$ = | TAB("ec4_de/mat"; f_{uk} ; ID=Stahl)/10 | = | 51,00 kN/cm ² |
| ε = | $\sqrt{\frac{23,5}{f_{a,k}}}$ | = | 0,814 |

Betonstahl

| | | | |
|------------|-----------------|---|--------------------------|
| f_{sk} = | | = | 500 N/mm ² |
| f_{sd} = | $f_{sk} / 1,15$ | = | 435 N/mm ² |
| E_s = | | = | 20000 kN/cm ² |



| | |
|--|-------------------------|
| Bewehrung: | |
| Längsbew. oben a_{s1} = | 5,24 cm ² /m |
| Längsbew. unten a_{s2} = | 5,24 cm ² /m |
| Querbew. oben a_{q1} = | 3,35 cm ² /m |
| Querbew. unten a_{q2} = | 3,35 cm ² /m |
| Abstand vom oberen Rand (vgl. Skizze oben) | |
| Längsbew. oben z_{s1} = | 2,50 cm |
| Längsbew. unten z_{s2} = | 10,50 cm |
| Querbew. oben z_{q1} = | 3,50 cm |
| Querbew. unten z_{q2} = | 13,50 cm |

Verdübelung

duktiler Kopfbolzendübel!

Schaftdurchmesser d = 22,0 mm

Dübelgesamtlänge h_{sc} = 125,0 mm

Zugfestigkeit f_u = 500 N/mm²

P_{Rd} = 82,00 kN

Belastung

Ausbaulasten g_a = 2,00 kN/m²

Nutzlast q_{k1} = 5,00 kN/m²

Einwirkungen

ständige Lasten

Betonplatte g_{k1} = $B \cdot h_1 \cdot 25 \cdot 10^{-3}$ = 12,00 kN/m

Stahlträger g_{k2} = $TAB("ec4_de/"Typ1; g; ID=ID1)$ = 1,12 kN/m

Ausbaulasten g_{k3} = $g_a \cdot B$ = 6,00 kN/m

Eigengewicht g_k = $g_{k1} + g_{k2} + g_{k3}$ = **19,12 kN/m**

veränderliche Einwirkungen

Verkehrslast q_k = $q_{k1} \cdot B$ = **15,00 kN/m**

Bemessungswert der maßgebenden Einwirkungskombination:

Teilsicherheitsbeiwerte

γ_G = 1,35

γ_Q = 1,50

Tragsicherheit

e_d = $\gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_k$ = **48,31 kN/m**

Querschnittswerte

Stahlprofil:

Höhe h_a = $TAB("ec4_de/"Typ1; h; ID=ID1)$ = 350,00 mm

Breite b_a = $TAB("ec4_de/"Typ1; b; ID=ID1)$ = 300,00 mm

Steg t_w = $TAB("ec4_de/"Typ1; tw; ID=ID1)$ = 10,00 mm

Flansch t_f = $TAB("ec4_de/"Typ1; tf; ID=ID1)$ = 17,50 mm

Radius r = $TAB("ec4_de/"Typ1; r; ID=ID1)$ = 27,00 mm

A_v = $TAB("ec4_de/"Typ1; Avz; ID=ID1)$ = 49,20 cm²

A_a = $TAB("ec4_de/"Typ1; A; ID=ID1)$ = 143,00 cm²

ctG = $TAB("ec4_de/"Typ1; ctG; ID=ID1)$ = 6,74

ctS = $TAB("ec4_de/"Typ1; ctS; ID=ID1)$ = 26,10

starke Achse

I_a = $TAB("ec4_de/"Typ1; Iy; ID=ID1)$ = 33090 cm⁴

$W_{pl,a}$ = $TAB("ec4_de/"Typ1; W_{ply}; ID=ID1)$ = 2080 cm³

S_y = $TAB("ec4_de/"Typ1; S_y; ID=ID1)$ = 1040 cm³



Mitwirkende Breite des Betongurtes

Feldbereiche (hier Feld 1 = Feld 2)

$$b_0 = 0,0 \text{ m}$$

$$L_{e1} = 0,85 \cdot L = 10,63 \text{ m}$$

$$b_1 = B/2 = 1,50 \text{ m}$$

$$b_2 = B/2 = 1,50 \text{ m}$$

$$be_1 = \text{MIN}(L_{e1}/8; b_1) = 1,33 \text{ m}$$

$$be_2 = \text{MIN}(L_{e2}/8; b_2) = 1,33 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff},1} = b_0 + \sum_{i=1}^2 be_i = 2,66 \text{ m}$$

$$b_c = b_{\text{eff},1} = 2,66 \text{ m}$$

Stützbereich (*Index s*)

$$L_{es} = 0,25 \cdot (L + L) = 6,25 \text{ m}$$

$$bs_1 = \text{MIN}(L_{es}/8; b_1) = 0,78 \text{ m}$$

$$bs_2 = \text{MIN}(L_{es}/8; b_2) = 0,78 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff},2} = b_0 + \sum_{i=1}^2 bs_i = 1,56 \text{ m}$$

$$b_s = b_{\text{eff},2} = 1,56 \text{ m}$$

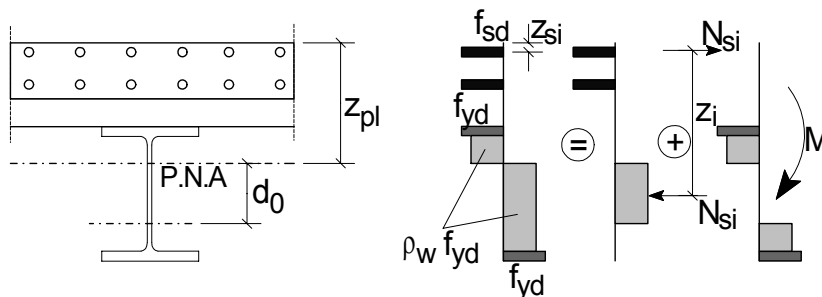
Einstufung des Querschnitts:

Es wird die Fließgelenktheorie angewendet; QK 1 erforderlich!

Software zur Dokumentation und Berechnung



Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.



Der nachfolgende Faktor ρ muss evtl. korrigiert werden \Rightarrow siehe Nachweis Tragsicherheit.
Fall: P.N.A. liegt im Steg des Stahlträgers für negatives Moment

$$\rho = 0$$

$$d_0 = \frac{N_{s1} + N_{s2}}{t_w \cdot (1 - \rho) \cdot f_{yd}} \cdot 10^2 = 200,2 \text{ mm}$$

$$d_0 / h_w = 0,64 \leq 1$$



$$\begin{aligned}
 z_{p1} &= h_c + h_p + h_a/2 - d_0/2 &= & 235 \text{ mm} \\
 z_{i1} &= h_c + h_p + h_a/2 - z_{s1} * 10 &= & 310 \text{ mm} \\
 z_{i2} &= h_c + h_p + h_a/2 - z_{s2} * 10 &= & 230 \text{ mm} \\
 W_{pl,f} &= (b_a * t_f * \left(\frac{h_a}{2} - \frac{t_f}{4}\right) + (b_a - t_w - 2 * r) * t_f * \left(\frac{h_a}{2} - \frac{3}{4} * t_f\right)) * 10^{-3} &= & 1564,3 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$



Software zur Dokumentation und Berechnung

cmaster

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

Druckspannungsverteilung im Steg

$$\alpha_w = 1 - \left(\frac{z_{p1} - h_c - h_p - t_f - r}{h_a - 2 * t_f - 2 * r} \right) = 0,883$$

$$c_1 = \frac{41,5 * \varepsilon}{\alpha_w} = 38,257$$

$$c_2 = \frac{456 * \varepsilon}{13 * \alpha_w - 1} = 35,422$$

$$\max_ctS = \text{WENN}(\alpha_w \leq 0,5; c_1; c_2) = 35,422$$

Überprüfung der erforderlichen Querschnittsklasse 1:

$$ctS / \max_ctS = \underline{\underline{0,74}}$$

Duktilitätsbewehrung bei Querschnittsklassen 1 und 2

Abstand der Schwerpunkte von Betongurt und Stahlträger des ungerissenen Querschnitts

$$a = (0,5 * (h_c + h_a) + h_p) * 10^{-1} = 28,0 \text{ cm}$$

$$A_{hc} = b_c * h_c * 10 = 2926,0 \text{ cm}^2$$

$$a_c = \frac{E_a * A_a}{E_a * A_a + E_{cm} * A_{hc} * 10^{-1}} * a = 6,96 \text{ cm}$$

$$z_0 = a_c * 10 = 69,60 \text{ mm}$$

$$k_c = \text{MIN}\left(\frac{1}{h_c} + 0,3; 1\right) = 0,859$$

$$f_{ct,eff} = f_{ctm} * 10^{-1} = 0,26 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_{ct} = b_s * h_c * 10 = 1716,00 \text{ cm}^2$$

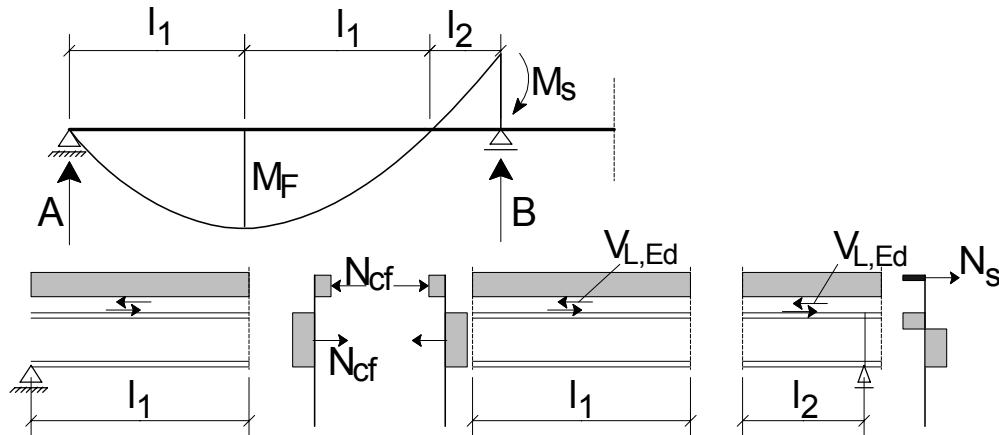
$$\delta_c = 1,1$$

$$\rho_s = \delta_c * \frac{f_{a,k}}{23,5} * \frac{f_{ctm}}{f_{sk}} * \sqrt{k_c} * 10^2 = 0,801 \%$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 16,34 \text{ cm}^2$$

$$\rho_s * 10^{-2} * \frac{A_{ct}}{A_s} = \underline{\underline{0,84 \leq 1}}$$

Schnittgrößenermittlung



Berechnung nach der Fließgelenktheorie

$$\begin{aligned}
 A_1 &= e_d \cdot L/2 - M_{S,Rd} / L &= 230,4 \text{ kN} \\
 B_1 &= e_d \cdot L/2 + M_{S,Rd} / L &= 373,5 \text{ kN} \\
 l_1 &= A_1 / e_d &= 4,77 \text{ m} \\
 M_F &= A_1^2 / (2 \cdot e_d) &= 549,41 \text{ kNm} \\
 V_{B,Ed} &= B_1 &= 373,50 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Verdübelung

Bereich I

Software zur Dokumentation und Berechnung

cmaster

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

$$e_{L,I,erf} = L_I \cdot 10^3 / n_{I,erf} = 165,6 \text{ mm}$$

gewählte Anzahl und Anordnung der Dübel für Bereich I

Abstand $e_{L,I} = 150 \text{ mm gew.}$

gew. $n_I = 33 \text{ Dübel gew.}$

$$\Rightarrow \text{Anzahl} > : L_I \cdot 10^3 / e_{L,I} = 31,8$$

$$(L_I \cdot 10^3 / e_{L,I}) / n_I = \underline{0,96 \leq 1}$$

Überprüfung des Dübelabstands

$$e_{L,I} / e_{L,I,erf} = \underline{0,91 \leq 1}$$

$$5 \cdot d / e_{L,I} = \underline{0,73 \leq 1}$$

$$e_{L,I} / 800 = \underline{0,19 \leq 1}$$

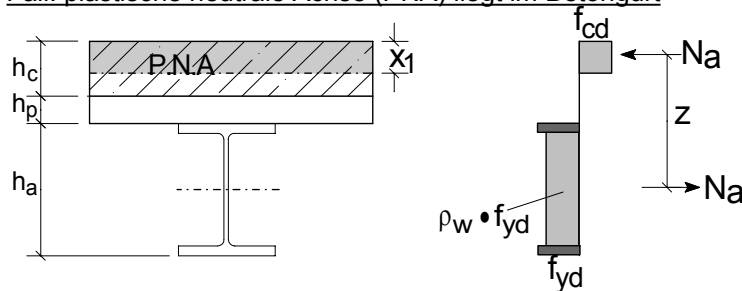
$$e_{L,I} / (6 \cdot h_1) = \underline{0,16 \leq 1}$$

$$V_{L,EdI} = n_I \cdot P_{Rd} = 2706,0 \text{ kN}$$

$$V_{L,Edt} / V_{L,EdI} = \underline{0,87 \leq 1}$$

Das Grenzmoment bei gleichmäßiger Verteilung darf bei vollständiger Verdübelung das 2,5-fache Grenzmoment des Stahlträgers nicht überschreiten:

Fall: plastische neutrale Achse (PNA) liegt im Betongurt



$$N_{a1} = \frac{(A_a - \rho \cdot A_v) \cdot f_{yd}}{N_{a1}} = 5076,50 \text{ kN}$$

$$x_1 = \frac{N_{a1}}{b_c \cdot f_{cd}} = 134,7 \text{ mm}$$

$$x_1 / h_c = 1,22 \leq 1$$

$$z_1 = \left(h_c - \frac{x_1}{2} \right) + h_p + \frac{h_a}{2} = 267,6 \text{ mm}$$

$$M_{Rd,1} = N_{a1} \cdot z_1 \cdot 10^{-3} = 1358,5 \text{ kNm}$$

$$(M_{Rd,1} / M_{pl,a,Rd}) / 2,5 = 0,74 \leq 1$$

Bereich II



Software zur Dokumentation und Berechnung

cmaster

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

gewählte Anzahl und Anordnung der Dübel für Bereich II

Abstand $e_{L,II} = 150 \text{ mm gew.}$
 gew. $n_{II} = 51 \text{ Dübel gew.}$
 $\Rightarrow \text{Anzahl} > : L_{II} \cdot 10^3 / e_{L,II} = 51,5$

Überprüfung des Dübelabstands

$$e_{L,II} / e_{L,II,erf} = 0,73 \leq 1$$

$$5 \cdot d / e_{L,II} = 0,73 \leq 1$$

$$e_{L,II} / 800 = 0,19 \leq 1$$

$$e_{L,II} / (6 \cdot h_1) = 0,16 \leq 1$$

$$V_{L,EdII} = n_{II} \cdot P_{Rd} = 4182,0 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{L,Edt} + A_s \cdot f_{sd} \cdot 10^{-1}}{V_{L,EdII}} = 0,73 \leq 1$$

Beanspruchbarkeit des Querschnitts

$$\frac{\text{Querkrafttragfähigkeit}}{A_v} = \frac{A_v}{A_v} = 49,20 \text{ cm}^2$$

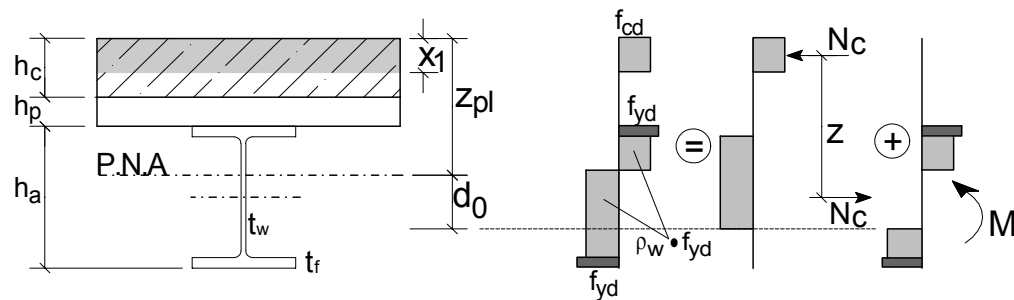
$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{a,k}}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 1008,4 \text{ kN}$$

Nachweis gegen Schubbeulen kann entfallen, wenn:

$$ctS^* 1,0 / (72^* \varepsilon) = \underline{0,45 \leq 1}$$

Momententragfähigkeit im Feldbereich:

Fall: Plastische neutrale Achse (PNA) liegt im Steg des Stahlträgers



Teilweise Verdübelung



Software zur Dokumentation und Berechnung

master

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

$$z = h_c + h_p + \frac{h_a}{2} - \frac{z_{c2}}{2} = 299,1 \text{ mm}$$

$$z_{pl} = h_c + h_p + \frac{h_a}{2} - \frac{d_0}{2} = -46,1 \text{ mm}$$

$$M_{pl,a,Rd} = 2 \cdot S_y \cdot f_{yd} \cdot 10^{-2} = 738 \text{ kNm}$$

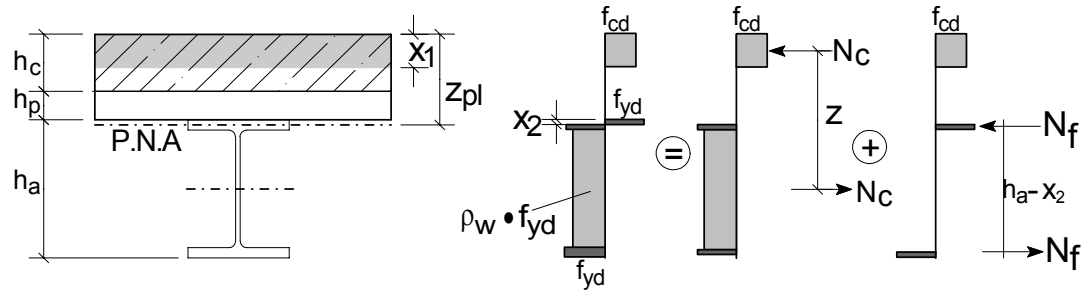
$$W_{pl,f} = \left(b_a \cdot t_f \cdot \left(\frac{h_a}{2} - \frac{t_f}{4} \right) + (b_a - t_w - 2 \cdot r) \cdot t_f \cdot \left(\frac{h_a}{2} - \frac{3}{4} \cdot t_f \right) \right) \cdot 10^{-3} = 1564 \text{ cm}^3$$

$$M_{pl,f,Rd} = W_{pl,f} \cdot f_{yd} \cdot 10^{-2} = 555 \text{ kNm}$$

$$M_{a,V,Rd} = M_{pl,f,Rd} + (M_{pl,a,Rd} - M_{pl,f,Rd}) \cdot (1 - \rho) = 738 \text{ kNm}$$

$$M_{F,Rd} = (N_{c2} \cdot z \cdot 10^{-1} + M_{a,V,Rd} \cdot 10^2 - 0,25 \cdot t_w \cdot d_0^2 \cdot 10^{-3} \cdot (1 - \rho) \cdot f_{yd}) \cdot 10^{-2} = \underline{1031,6 \text{ kNm}}$$

Fall: Plastische neutrale Achse liegt im Flansch des Stahlträgers



$$\begin{aligned}
 N_{c2} &= n_l \cdot P_{Rd} &= 2706,0 \text{ kN} \\
 N_{a2} &= (A_a - \rho \cdot A_v) \cdot f_{yd} &= 5076,5 \text{ kN} \\
 N_{f2} &= (N_{a2} - N_{c2}) / 2 &= 1185,3 \text{ kN} \\
 z_{c2} &= N_{c2} / (b_c \cdot f_{cd}) &= 71,8 \text{ mm} \\
 z_{c2} / h_c & &= \underline{0,65 \leq 1} \\
 z_{f2} &= N_{f2} / (b_a \cdot f_{yd}) \cdot 10^2 &= 11,1 \text{ mm} \\
 z_{f2} / t_f & &= \underline{0,63 \leq 1} \\
 z_2 &= h_c \cdot \frac{z_{c2}}{2} + h_p + \frac{h_a}{2} &= 299,1 \text{ mm} \\
 z_{pl2} &= h_c + h_p + z_{f2} &= 171,1 \text{ mm} \\
 M_{F,Rd} &= (N_{c2} \cdot z_2 + N_{f2} \cdot (h_a - z_{f2})) \cdot 10^{-3} &= \underline{1211,1 \text{ kNm}}
 \end{aligned}$$

Nachweis der Tragfähigkeit

Querkraft:

$$V_{B,Ed} / V_{pl,Rd} = \underline{0,37 \leq 1}$$

Nachweis Biegung und Querkraft:

$$\rho_{Ed} = (2 \cdot V_{B,Ed} / V_{pl,Rd} - 1)^2 = 0,067$$

$$\rho = \text{WENN}(V_{B,Ed} / V_{pl,Rd} \leq 0,5; 0; \rho_{Ed}) = 0,000$$

Nachweis des Feldmomentes:

$$M_F / M_{F,Rd} = \underline{0,45 \leq 1}$$

Biegedrillknicken

hier: Vereinfachter Nachweis nach DIN EN 1994-1-1:2010-12; 6.4.3

1.) gleiche Stützweite

2.) Gleichstreckenlasten - Verhältnis

$$g_k / (g_k + q_k) = 0,56$$

$$0,4 / (g_k / (g_k + q_k)) = \underline{0,71 \leq 1}$$

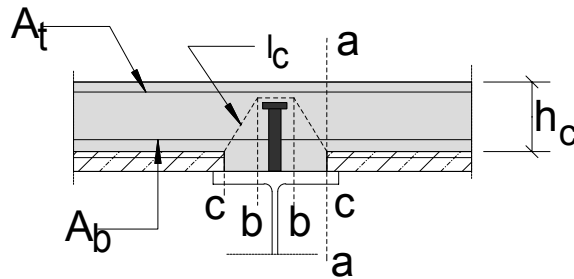
3.) Verdübelung nach DIN EN 1994-1-1:2010-12; 6.6 und Dübelabstand nicht größer als 300 mm!

4.) Grenzprofilhöhe DIN EN 1994-1-1:2010-12; NDP zu 6.4.3; Tabelle NA.1

$$h_{a,grenz} = \text{TAB}(\text{"EC4_de/hgrenz"; hmax; ID=Typ1; Stahl=Stahl}) = 650 \text{ mm}$$

$$h_a / h_{a,grenz} = \underline{0,54 \leq 1}$$

Längsschub im Betongurt



Querbewehrung für die Querbiegung

$$\begin{aligned}
 A_t &= a_{q1} &= & 3,35 \text{ cm}^2/\text{m} \\
 A_b &= a_{q2} &= & 3,35 \text{ cm}^2/\text{m} \\
 a_v &= L_1 \cdot 10^2 &= & 477,0 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Bemessungswert der vollen Längsschubkraft pro Längeneinheit für die Dübelumrissfläche

$$v_{L,Ed,b} = V_{L,Ed,t} / a_v = 4,95 \text{ kN/cm}$$

Längsschubtragfähigkeit in der Dübelumrissfläche des Schnittes b-b

Nachweis der Druckstrebe:

$$\begin{aligned}
 l_c &= \sqrt{(0,5 \cdot (b_a - 2 \cdot 35 - 1,5 \cdot d))^2 + (h_{sc} - h_p)^2} &= & 123,8 \text{ mm} \\
 l_{fc} &= 2 \cdot l_c + 1,5 \cdot d &= & 280,6 \text{ mm} \\
 l_{fb} &= 2 \cdot h_{sc} + 1,5 \cdot d &= & 283,0 \text{ mm} \\
 l_f &= \text{MIN}(l_{fb}; l_{fc}) &= & 280,6 \text{ mm} \\
 v &= \text{WENN}(f_{ck} \leq 50; 0,75; 0,75 \cdot (1,1 - f_{ck} / 500)) &= & 0,75 \\
 \cot \Theta &= & & 1,20 \\
 \Theta_f &= \text{ATAN}(1/\cot \Theta) &= & 39,81^\circ \\
 v_{Rd,c,b} &= v \cdot l_f \cdot f_{cd} \cdot \text{SIN}(\Theta_f) \cdot \text{COS}(\Theta_f) \cdot 10^{-2} &= & 14,67 \text{ kN/cm} \\
 v_{L,Ed,b} / v_{Rd,c,b} & &= & \underline{0,34 \leq 1}
 \end{aligned}$$

Zugstrebenachweis

$$A_{fb,erf} = v_{L,Ed,b} / (\cot \Theta \cdot f_{sd}) \cdot 10^3 = 9,48 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Wahl Stabdurchmesser und Abstand

$$\begin{aligned}
 e_{Ls} &= 150 \text{ mm} \\
 \text{gew. } d_{sq} &= \text{GEW}("ec4_de/As"; ds;) = 10 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_z &= \frac{\pi \cdot d_{sq}^2}{4 \cdot e_{Ls}} \cdot 10 &= & 5,24 \text{ cm}^2/\text{m} \\
 A_f &= 2 \cdot A_z &= & 10,48 \text{ cm}^2/\text{m} \\
 A_{fb,erf} / A_f & &= & \underline{0,90 \leq 1}
 \end{aligned}$$

Bemessungswert der anteiligen Längsschubkraft pro Längeneinheit für den Plattenanschnitt:

$$\begin{aligned}
 b_{aa} &= b_c / 2 &= & 1,33 \text{ m} \\
 v_{L,Ed,a} &= \frac{V_{L,Ed,t}}{a_v} \cdot \frac{b_{aa}}{b_c} &= & 2,47 \text{ kN/cm}
 \end{aligned}$$

Längsschubtragfähigkeit am Plattenanschnitt des Schnittes a-a.

Nachweis der Druckstrebe:

$$\begin{aligned}
 l_{fa} &= h_c &= & 110 \text{ mm} \\
 v &= \text{WENN}(f_{ck} \leq 50; 0,75; 0,75 \cdot (1,1 - f_{ck} / 500)) &= & 0,75 \\
 \cot \Theta &= & & 1,20 \\
 \Theta_f &= \text{ATAN}(1/\cot \Theta) &= & 39,81^\circ \\
 v_{Rd,c,a} &= v \cdot l_{fa} \cdot f_{cd} \cdot \text{SIN}(\Theta_f) \cdot \text{COS}(\Theta_f) \cdot 10^{-2} &= & 5,75 \text{ kN/cm} \\
 v_{L,Ed,a} / v_{Rd,c,a} & &= & \underline{0,43 \leq 1}
 \end{aligned}$$



Zugstrebenachweis:

$$A_{fa,erf} = \frac{v_{L,Ed,a}}{(1,2 \cdot f_{sd})} \cdot 10^3 = 4,73 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$(A_{fa,erf} / 2) / A_t = \underline{0,71 \leq 1}$$

$$(A_{fa,erf} / 2) / A_z = \underline{0,45 \leq 1}$$

Die erforderliche Bewehrung ist je zur Hälfte auf die Ober- und Unterseite der Ortbetonschicht zu verteilen. Sofern obige Nachweise < 1, ist die Bewehrung aus Querbiegung maßgebend. Die untere Hälfte wird durch A_z abgedeckt. Die Verankerung erfolgt nach DIN EN 1992-1-1, 8.4.

Nachweis der Durchbiegung

$$\varphi_{t,S} = 5,08$$

$$\varphi_{t,P} = 2,89$$

$$\varepsilon_{cs} = 0,55 \text{ ‰}$$

$$\psi_2 = 0,30$$

Biegesteifigkeit EI des Verbundträgers

Es gilt näherungsweise $h_c = h_1$.



Biegesteifigkeit des gerissenen Stützenquerschnitts

Berechnung des Schwerpunktes des gerissenen Stützenquerschnitts vom oberen Rand des Betongurtes:

$$A_{s1} = A_{s1} = 8,17 \text{ cm}^2$$

$$A_{s2} = A_{s2} = 8,17 \text{ cm}^2$$

$$A_{St} = A_{s1} + A_{s2} + A_a = 159,34 \text{ cm}^2$$

$$e_{St} = \frac{A_{s1} \cdot z_{s1} + A_{s2} \cdot z_{s2} + A_a \cdot \left(h_c + h_p + \frac{h_a}{2} \right) \cdot 10^{-1}}{A_{St}} = 30,73 \text{ cm}$$

Berechnung des Flächenmomentes 2. Grades des Stützenquerschnitts;

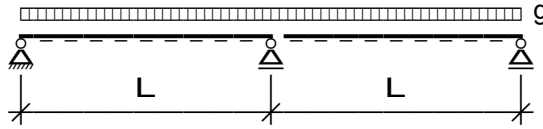
$$I_{St} = I_a + A_{s1} \cdot z_{s1}^2 + A_{s2} \cdot z_{s2}^2 + A_a \cdot \left(h_c + h_p + \frac{h_a}{2} \right)^2 \cdot 10^{-2} - A_{St} \cdot e_{St}^2 = 44054 \text{ cm}^4$$

$$EI_{St} = E_a \cdot I_{St} \cdot 10^{-4} = 92513 \text{ kNm}^2$$

Verformungsanteile

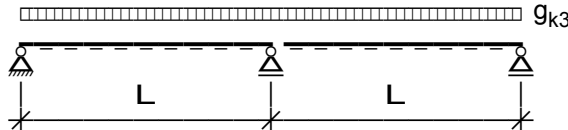
Die Verformungsanteile müssen in einer Nebenrechnung mittels EDV ermittelt werden. Im Stützenbereich auf einer Länge von $0,15 \cdot L$ ist der Betongurt gerissen und die Biegesteifigkeit EI_{St} . Im Feldbereich mit der Länge $0,85 \cdot L$ ist die jeweilige Biegesteifigkeit des Verbundträgers zu berücksichtigen.

Durchbiegung des Stahlträgers im Bauzustand (einheitlich EI_a) zum Zeitpunkt $t = 0$;



$$f_{1,1} = (g_{k1} + g_{k2}) \cdot \frac{L^4}{192 \cdot EI_a} \cdot 10^3 = 24 \text{ mm}$$

Durchbiegung des Verbundträgers infolge der Ausbaulasten zum Zeitpunkt $t = 0$;
(Feldbereich EI_0 ; Stützbereich EI_{St})

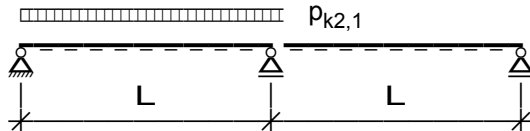


$$p_{1,2} = g_{k3} = 6,00 \text{ kN/m}$$

$$f_{1,2} = 4,1 \text{ mm}$$

Durchbiegung des Verbundträgers infolge der quasi-ständigen einseitigen Verkehrslast zum Zeitpunkt $t = 0$;
(Feldbereich EI_0 ; Stützbereich EI_{St})

Durchbiegung des Verbundträgers infolge der Ausbaulasten zum Zeitpunkt $t = 0$;
(Feldbereich EI_0 ; Stützbereich EI_{St})



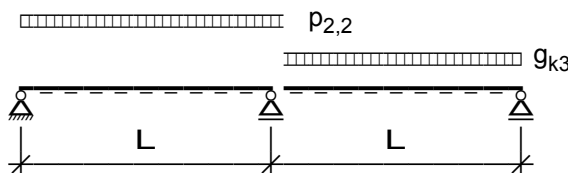
$$p_{2,1} = \psi_2 \cdot q_k = 4,50 \text{ kN/m}$$

$$f_{2,1} = 4,4 \text{ mm}$$

durch Kriechen und Schwinden unter quasi-ständigen Einwirkungen zum Zeitpunkt $t = \infty$. Dieser Verformungsanteil ist die Differenz der Durchbiegung zum Zeitpunkt $t = \infty$ und dem Zeitpunkt $t = 0$. Bei Trägern ohne Eigengewichtsverbund beanspruchen nur die Ausbaulast und der quasi-ständige Verkehrslastanteil den Verbundträger.

(System $t = \infty$: Feldbereich EI_P ; Stützbereich EI_{St})

(System $t = 0$: Feldbereich EI_0 ; Stützbereich EI_{St})



$$p_{2,2} = g_{k3} + \psi_2 \cdot q_k = 10,50 \text{ kN/m}$$

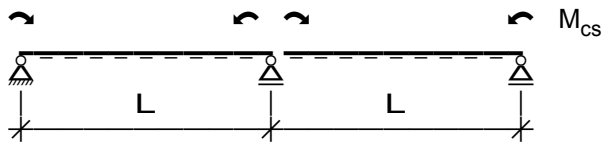
$$f_{2,2,\infty} = 11,7 \text{ mm}$$

$$f_{2,2,0} = 8,5 \text{ mm}$$

$$f_{2,2} = f_{2,2,\infty} - f_{2,2,0} = 3,2 \text{ mm}$$



Schwinden: (Feldbereich EI_S ; Stützbereich EI_{St})



$$N_{cs} = \frac{\varepsilon_{cs} \cdot E_S \cdot B \cdot h_1 \cdot 10^{-2}}{E_a \cdot A_a} = 2156,9 \text{ kN}$$

$$a_{cS} = \frac{E_a \cdot A_a}{E_a \cdot A_a + E_S \cdot A_c} \cdot a_1 = 11,8 \text{ cm}$$

$$M_{cs} = N_{cs} \cdot a_{cS} \cdot 10^{-2} = 254,5 \text{ kNm}$$

$$f_{2,3} = 14,6 \text{ mm}$$

Nachgiebigkeit kann vernachlässigt werden - bei entsprechender Verdübelung und wenn $n/n_f \geq 0,5$:



Software zur Dokumentation und Berechnung

cmaster

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

Nachweis der Eigenfrequenz

Berücksichtigung von Eigengewicht und Biegesteifigkeit des Verbundträgers unter Kurzzeitbelastung

$$v_0 = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot L^4}{E_0} \cdot 10^2 = 2,4 \text{ cm}$$

$$f = \frac{5,6}{\sqrt{v_0}} = 3,61 \text{ Hz}$$

Empfohlene Werte siehe z.B. Eurocode 3 (März 1994)...unterste Eigenfrequenz für regelmäßig begangene Decken ≥ 3 Hz; Turnhallen o.ä. ≥ 5 Hz

Begrenzung der Rißbreite

Mindestbewehrung im Stützbereich; **Vorgabe Rißbreite und Durchmesser**

$$w_k = \text{GEW}(\text{"ec4_de/dgrenz"; } w_k ;) = 0,40 \text{ mm}$$

$$\text{gew_d}_s = \text{GEW}(\text{"ec4_de/dgrenz"; } d ;) = 10 \text{ mm}$$

$$f_{ct,eff} = f_{ctm} = 2,60 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ct,o} = 2,90 \text{ N/mm}^2$$

$$k_c = \text{MIN}\left(\frac{1}{1 + h_c / (2 \cdot z_0)} + 0,3; 1\right) = 0,859$$

$$k_s = 0,90$$

$$k = 0,80$$

$$d^* = \frac{\text{gew_d}_s \cdot f_{ct,o} / f_{ct,eff}}{k} = 11,15 \text{ mm}$$

$$\sigma_s = \text{TAB}(\text{"ec4_de/dgrenz"; } \sigma_s; w_k; d; d^*) = 337 \text{ N/mm}^2$$

$$A_{s,min} = k_s \cdot k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / \sigma_s = 8,19 \text{ cm}^2$$

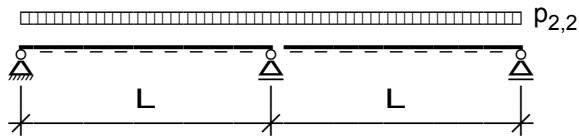
$$A_{s,min} / A_s = \underline{\underline{0,50 \leq 1}}$$

Begrenzung der Rißbreite ohne direkte Berechnung

Die Berechnung des Stützmomentes M_{St} erfolgt für die quasi-ständige Kombination zum Zeitpunkt $t = \infty$. Es werden die maximalen Betonstahlspannungen im Stützenbereich ermittelt unter Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen.

Stützmoment unter quasi-ständiger Einwirkung, $t = \infty$.

(Feldbereich EI_P ; Stützbereich EI_{St})



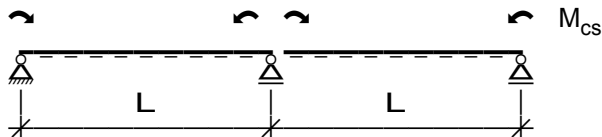
$$p_{2,2} = g_{k3} + \psi_2 \cdot q_k = 10,50 \text{ kN/m}$$

aus Nebenrechnung gemäß obigen System erhält man für das Stützmoment:

$$M_{St,1} = 167,8 \text{ kNm}$$

Stützmoment unter Schwinden:

(Feldbereich EI_S ; Stützbereich EI_{St})



$$M_{cs} = M_{cs} = 254,5 \text{ kNm}$$

aus Nebenrechnung gemäß obigen System erhält man für das Stützmoment:

$$M_{St,2} = 196,7 \text{ kNm}$$

Berechnung der maximalen Betonstahlspannung σ_{St} :

$$M_{St} = M_{St,1} + M_{St,2} = 364,5 \text{ kNm}$$

Abstand der oberen Bewehrung vom Schwerpunkt

$$z_{St} = e_{St} - z_{s1} = 28,23 \text{ cm}$$

$$\sigma_{s2} = \frac{M_{St}}{I_{St}} \cdot z_{St} \cdot 10^3 = 233,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{St} = \frac{A_s}{A_{ct}} \cdot 10^2 = 0,952 \%$$

$$\alpha_{St} = \frac{A_{St} \cdot I_{St}}{A_a \cdot I_a} = 1,483$$

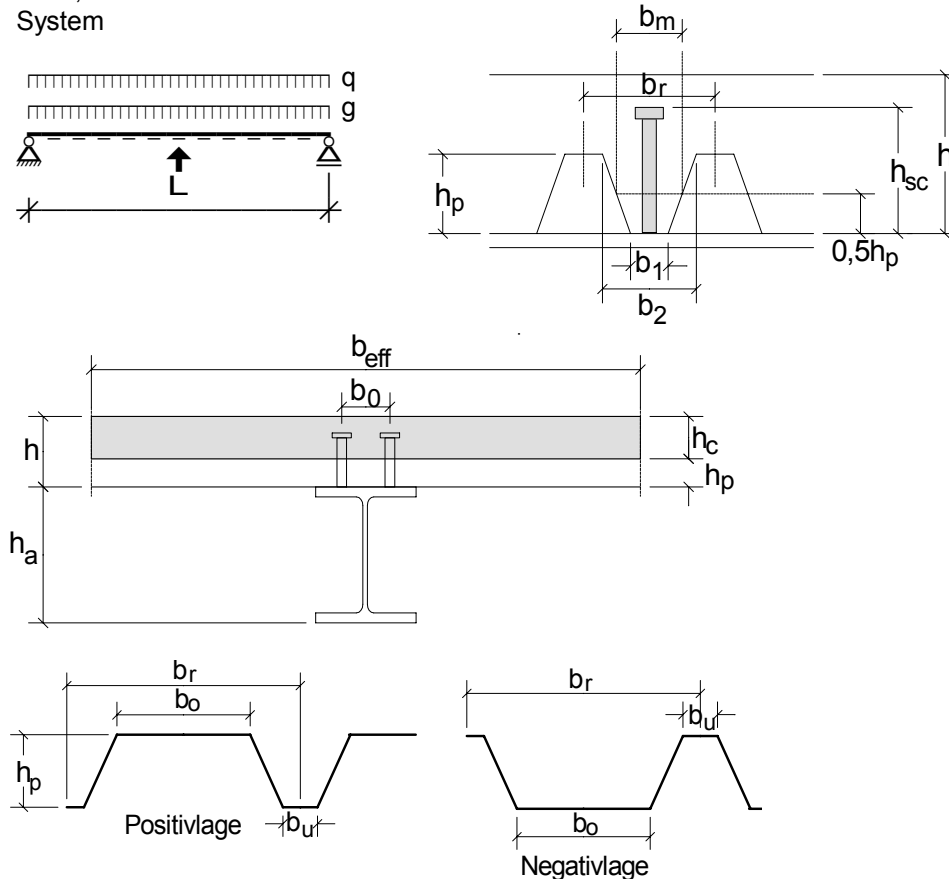
$$\sigma_{St} = \sigma_{s2} + 0,4 \cdot \frac{f_{ctm}}{\alpha_{St} \cdot \rho_{St} \cdot 10^{-2}} = 307,3 \text{ N/mm}^2$$

Kapitel Verbunddecken

Einfeld-Verbunddecke mit Trapezprofil

nach DIN EN 1994-1-1:2010-12 Tragwerk des Hochbaus; Profilblech mit Rippen senkrecht zur Trägerachse, doppel symmetrischer Stahlquerschnitt, durchgeschweißte Kopfbolzendübel; im Bauzustand mittig unterstützt; kein Biegedrillknicken;

System



Vorgabewerte

Geometrie

| | |
|--------------------------|---------|
| Stützweite $L =$ | 12,00 m |
| Trägerabstand $B =$ | 3,60 m |
| Gesamtstärke Decke $h =$ | 160 mm |

Belastung (Eigengewicht Träger wird automatisch berücksichtigt)

| | |
|----------------------|------------------------|
| Ausbaulasten $g_a =$ | 2,15 kN/m ² |
| Nutzlast $q_{k1} =$ | 5,00 kN/m ² |

Profilblech

| | | |
|------------------------|---|-----------------------|
| Steckgrenze $f_{yp} =$ | | 280 N/mm ² |
| Profilblech HS = | GEW("EC4_de/trapez";HS;) | = Holorib |
| Lage = | GEW("EC4_de/trapez";Lage;HS=HS) | = n.Z. |
| Bezeichnung ID = | GEW("EC4_de/trapez";ID;HS=HS;Lage=Lage) | = Holorib 54/150-0.88 |

| | | |
|-------------------------|-------------------------------|-----------|
| Blechdicke $t =$ | TAB("EC4_de/trapez";tN;ID=ID) | = 0,88 mm |
| Profilblechhöhe $h_p =$ | TAB("EC4_de/trapez";h;ID=ID) | = 51 mm |
| $\Rightarrow h_c =$ | $h - h_p$ | = 109 mm |
| Obergurtbreite $b_o =$ | TAB("EC4_de/trapez";bO;ID=ID) | = 36 mm |
| Untergurtbreite $b_U =$ | TAB("EC4_de/trapez";bU;ID=ID) | = 138 mm |
| Rippenabstand $b_r =$ | TAB("EC4_de/trapez";bR;ID=ID) | = 150 mm |



| | | |
|----------------------------------|---|------------------------------|
| Kopfbolzendübel | | |
| Schaftdurchmesser $d =$ | | 22,0 mm |
| Dübelgesamtlänge $h_{sc} =$ | | 100,0 mm |
| Zugfestigkeit $f_u =$ | | 450 N/mm ² |
| (bei 2 Dübeln pro Sicke) $b_0 =$ | | 0 mm |
| Material | | |
| Beton = | GEW("ec4_de/beton_ec2"; Bez;) | = C25/30 |
| $f_{ck} =$ | TAB("ec4_de/beton_ec2"; fck;Bez=Beton) | = 25,00 N/mm ² |
| $E_{cm} =$ | TAB("ec4_de/beton_ec2"; Ecm;Bez=Beton) | = 31000 N/mm ² |
| $f_{cd} =$ | TAB("ec4_de/beton_ec2"; fcd;Bez=Beton) | = 14,17 N/mm ² |
| Stahl = | GEW("ec4_de/mat"; ID;) | = S 355 |
| $E_a =$ | TAB("ec4_de/mat"; E; ID=Stahl)/10 | = 21000,0 kN/cm ² |
| $f_{a,k} =$ | TAB("ec4_de/mat"; f_{yk} ; ID=Stahl)/10 | = 35,5 kN/cm ² |
| $\varepsilon =$ | $\sqrt{\frac{23,5}{f_{a,k}}}$ | = 0,81 |
| Wahl des Stahlprofils | | |
| Typ1 = | GEW("ec4_de/Profile";ID;) | = IPE |
| Profil ID1 = | GEW("ec4_de/"Typ1; ID;) | = IPE 450 |
| Eigenschaften Profil | | |
| Höhe $h_a =$ | TAB("ec4_de/"Typ1; h; ID=ID1) | = 450,00 mm |
| Breite $b_a =$ | TAB("ec4_de/"Typ1; b; ID=ID1) | = 190,00 mm |
| Steg $t_w =$ | TAB("ec4_de/"Typ1; tw; ID=ID1) | = 9,40 mm |
| Flansch $t_f =$ | TAB("ec4_de/"Typ1; tf; ID=ID1) | = 14,60 mm |
| Radius $r =$ | TAB("ec4_de/"Typ1; r;ID=ID1) | = 21,00 mm |
| $A_v =$ | TAB("ec4_de/"Typ1; Avz; ID=ID1) | = 50,82 cm ² |
| $A_a =$ | TAB("ec4_de/"Typ1; A; ID=ID1) | = 98,80 cm ² |
| ctG = | TAB("ec4_de/"Typ1; ctG; ID=ID1) | = 4,75 |
| ctS = | TAB("ec4_de/"Typ1; ctS; ID=ID1) | = 40,30 |
| starke Achse | | |
| $I_a =$ | TAB("ec4_de/"Typ1; ly;ID=ID1) | = 33740,00 cm ⁴ |
| $W_{pl,a} =$ | TAB("ec4_de/"Typ1; W _{ply} ; ID=ID1) | = 1702,00 cm ³ |
| $S_y =$ | TAB("ec4_de/"Typ1; S _y ; ID=ID1) | = 851 cm ³ |

Einwirkungen

| | | |
|---|---|---------------------|
| ständige Lasten | | |
| Betonplatte $g_{k1} =$ | $B \cdot h \cdot 25 \cdot 10^{-3}$ | = 14,40 kN/m |
| Stahlträger $g_{k2} =$ | TAB("ec4_de/"Typ1; g; ID=ID1) | = 0,78 kN/m |
| Ausbaulasten $g_{k3} =$ | $g_a \cdot B$ | = 7,74 kN/m |
| Eigengewicht $g_k =$ | $g_{k1} + g_{k2} + g_{k3}$ | = 22,92 kN/m |
| veränderliche Einwirkungen | | |
| Verkehrslast $q_k =$ | $q_{k1} \cdot B$ | = 18,00 kN/m |
| <u>Bemessungswert der maßgebenden Einwirkungskombination:</u> | | |
| Tragsicherheit | | |
| $e_d =$ | $\gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_k$ | = 57,94 kN/m |
| ständige / vorübergehende Bemessungssituation | | |
| $M_{y,Ed} =$ | $e_d \cdot L^2 / 8$ | = 1043 kNm |
| $V_{Ed} =$ | $0,5 \cdot e_d \cdot L$ | = 348 kN |



Einstufung des Querschnitts:

Software zur Dokumentation und Berechnung

Cmaster

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

Querschnittstragfähigkeit - Querkraft

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{a,k}}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 1041,6 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} / V_{pl,Rd} = 0,33 \leq 1$$

Nachweis gegen Schubbeulen kann entfallen, wenn:

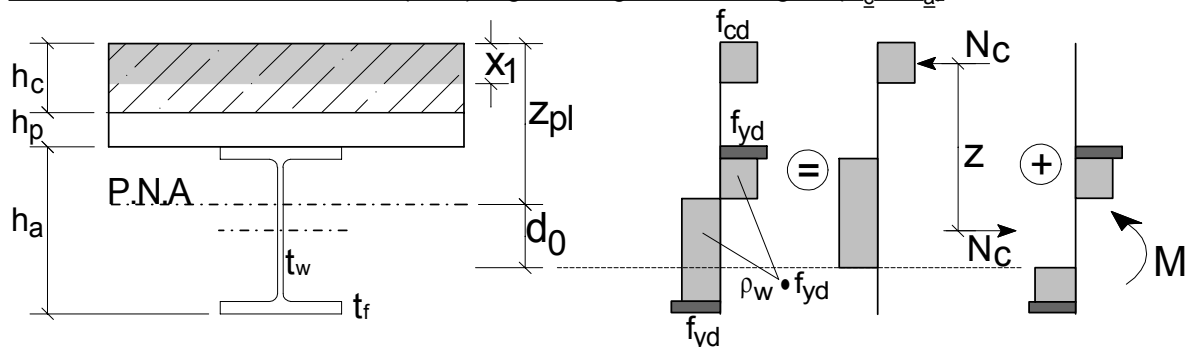
$$(h_a - 2 \cdot t_f) / t_w \cdot 1,0 / (72 \cdot \varepsilon) = 0,77 \leq 1$$

hier: $\eta = 1,0$ gewählt

Querschnittstragfähigkeit - Biegemoment

$$f_{a,d} = f_{a,k} / 1,0 = 35,50 \text{ kN/cm}^2$$

Fall 1: Plastische neutrale Achse (PNA) liegt im Steg des Stahlträgers ($N_c < N_a$)



Software zur Dokumentation und Berechnung

Cmaster

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

$$W_{pl,f} = \left(b_a \cdot t_f \cdot \left(\frac{h_a}{2} - \frac{t_f}{4} \right) + (b_a - t_w - 2 \cdot r) \cdot t_f \cdot \left(\frac{h_a}{2} - \frac{3}{4} \cdot t_f \right) \right) \cdot 10^{-3} = 1047 \text{ cm}^3$$

$$M_{pl,f,Rd} = W_{pl,f} \cdot f_{a,d} \cdot 10^{-2} = 372 \text{ mm}$$

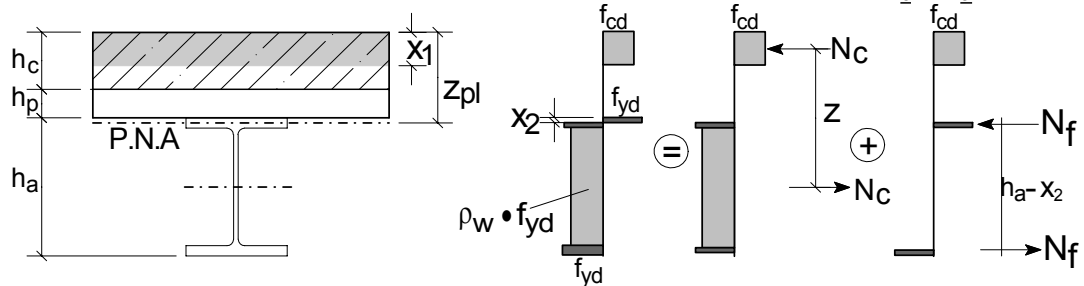
$$M_{a,V,Rd} = M_{pl,f,Rd} + (M_{pl,a,Rd} - M_{pl,f,Rd}) = 604 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = (N_c \cdot z \cdot 10^{-1} + M_{a,V,Rd} \cdot 10^2 - 0,25 \cdot t_w \cdot d_0^2 \cdot 10^{-3} \cdot f_{a,d}) \cdot 10^{-2} = 526,8 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} / M_{Rd} = 1,98 \leq 1$$



Fall 2: Plastische neutrale Achse (PNA) liegt im Flansch des Stahlträgers ($N_c < N_a$)



vollständige Verdübelung:

Software zur Dokumentation und Berechnung

Cmaster

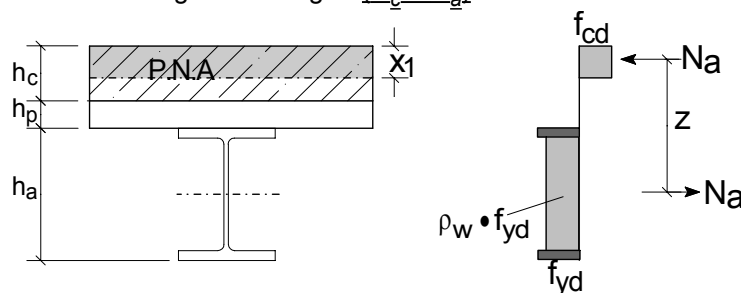
Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

$$Z_{pl} = h_c + h_p + x_2 = 151,7 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = (N_c \cdot z + N_f \cdot (h_a - x_2)) \cdot 10^{-3} = 1273,3 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} / M_{Rd} = 0,82 \leq 1$$

Fall 3: PNA liegt im Betongurt ($N_c > N_a$):



$$N_{pl,a,Rd} = A_a \cdot f_{a,d} = 3507 \text{ kN}$$

$$x_1 = \frac{N_{pl,a,Rd}}{b_{eff,1} \cdot f_{cd}} = 82,5 \text{ mm}$$

$$x_1 / h_c = 0,76 \leq 1$$

$$z = h_c \cdot \frac{x_1}{2} + h_p + \frac{h_a}{2} = 344 \text{ mm}$$

$$M_{pl,Rd} = N_{pl,a,Rd} \cdot z \cdot 10^{-3} = 1206 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} / M_{pl,Rd} = 0,86 \leq 1$$



Verdübelung

hier: Profilblech mit Rippen senkrecht zur Trägerachse; automatisches Schweißverfahren nach EN 14555; durch das Profilblech geschweißte Dübel

$$\alpha = \text{WENN}(h_{sc}/d \leq 4; 0,2 * (h_{sc}/d + 1); 1) = 1,00$$
$$f_u = \text{MIN}(f_u; 450) = 450 \text{ N/mm}^2$$

Stahlversagen:

$$P_{Rd,1} = \frac{0,8 * f_u * \frac{1}{4} * \pi * d^2}{1,25} * 10^{-3} = 109,48 \text{ kN}$$

Betonversagen:

$$P_{Rd,2} = \frac{0,29 * \alpha * d^2 * \sqrt{f_{ck} * E_{cm}}}{1,5} * 10^{-3} = 82,38 \text{ kN}$$

Abminderungsfaktor wegen der quer verlaufenden, durchgehenden Rippen des Stahlprofilbleches (unterbrochene Verbundfuge)

Breite b_m gemäß Bild 6.13 DIN EN 1994-1-1:2010-12; 6.6.4.2



einreihige Dübel:

$$k_{t1} = \text{MIN}\left(\frac{0,7}{\sqrt{1}} * \frac{b_m}{h_p} * \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1\right); k_{t,max1}\right) = 0,850$$

Bemessungswert der Längsschubtragfähigkeit des Dübels

$$P_{Rd1} = k_{t1} * \text{MIN}(P_{Rd,1}; P_{Rd,2}) = 70,02 \text{ kN}$$

zweireihige Dübel:

$$k_{t,max2} = \text{WENN}(t > 1,0; 0,8; 0,7) = 0,70$$

$$k_{t2} = \text{MIN}\left(\frac{0,7}{\sqrt{2}} * \frac{b_m}{h_p} * \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1\right); k_{t,max2}\right) = 0,700$$

Bemessungswert der Längsschubtragfähigkeit des Dübels

$$P_{Rd2} = k_{t2} * \text{MIN}(P_{Rd,1}; P_{Rd,2}) = 57,67 \text{ kN}$$

Bedingung für k_t :

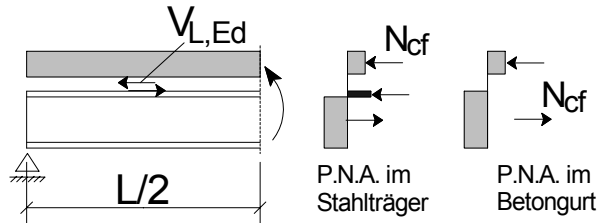
$$h_p / 85 = 0,60 \leq 1$$

$$d / 20 = 1,10 \leq 1$$

a) Vollständige Verdübelung

$$V_{L,Ed} = \text{MIN}(A_a \cdot f_{a,d}; b_{\text{eff},1} \cdot h_c \cdot f_{cd}) = 3507 \text{ kN}$$

$$N_{c,f} = V_{L,Ed} = 3507 \text{ kN}$$



Die Summe der Kopfbolzendübel muss bei vollständiger Verdübelung mindestens die Längsschubkraft aufnehmen können. Die erforderliche Anzahl n_f der Verbundmittel bei vollständiger Verdübelung beträgt:

einreihige Dübel:

$$\text{(einreihig)} n_f = V_{L,Ed} / P_{Rd1} = 50,1$$

durch den Rippenabstand begrenzte Dübelanzahl:

$$n_{\text{max}} = 0,5 \cdot L \cdot 10^3 / b_r = 40,0$$

$$n_f / n_{\text{max}} = \underline{\underline{1,25 \leq 1}}$$

zweireihige Dübel:

$$\text{(zweireihig)} n_{f2} = V_{L,Ed} / P_{Rd2} = 60,8$$

durch den Rippenabstand begrenzte Dübelanzahl:

$$n_{\text{max}2} = 2 \cdot 0,5 \cdot L \cdot 10^3 / b_r = 80,0$$

$$n_f / n_{\text{max}2} = \underline{\underline{0,63 \leq 1}}$$

Sofern $n_{\text{max}} < n_f$ ist, liegt Teilverbund vor \Rightarrow das plastische Biegemoment ist zu reduzieren!

b) teilweise Verdübelung

Die maximal übertragbare Betonkraft beträgt bei 1 Dübel / Rippe :

$$N_c = n_{\text{max}} \cdot P_{Rd1} = 2801 \text{ kN}$$

Verdübelungsgrad:

$$\eta = N_c / N_{c,f} = 0,80$$

Mindestverdübelungsgrad

(Prüfung der Randbedingungen nach DIN EN 1994-1-1:2010-12; 6.6.1.2 (3))

$$\eta_b = \text{WENN}(L > 25; 1; \text{MAX}(1 - (35,5/f_{a,k}) \cdot (0,75 - 0,03 \cdot L); 0,4)) = 0,61$$

$$\eta_a = \text{WENN}(L > 25; 1; \text{MAX}(1 - (35,5/f_{a,k}) \cdot (1 - 0,04 \cdot L); 0,4)) = 0,48$$

$$\eta_{\text{min}} = \text{WENN}(19/d = 1 \text{ UND } 76/h_{sc} \leq 1 \text{ UND } 2 \cdot h_p / b_m \leq 1 \text{ UND } h_p / 60 \leq 1; \eta_a; \eta_b) = \mathbf{0,61}$$

$$\eta_{\text{min}} / \eta = \underline{\underline{0,76 \leq 1}}$$

Reduzierte plastische Momenten Tragfähigkeit bei teilweiser Verdübelung:

$$M_{pl,a,Rd} = W_{pl,a} \cdot f_{a,d} \cdot 10^{-2} = 604,2 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = M_{pl,a,Rd} + (M_{pl,Rd} - M_{pl,a,Rd}) \cdot N_c / N_{c,f} = \mathbf{1084,9 \text{ kNm}}$$

Nachweis:

$$M_{y,Ed} / M_{Rd} = \underline{\underline{0,96 \leq 1}}$$

Eine Abminderung der Biegetragfähigkeit wegen der gleichzeitig vorhandenen Querkraft ist nicht erforderlich, da die maximalen Schnittgrößen in Feldmitte ($M_{y,Ed}$) und am Auflager (V_{Ed}) auftreten.

Für die gleichmäßige Verteilung der Dübel mit ($e_L = b_r$) muss nachgewiesen werden

$$M_{pl,Rd} / M_{pl,a,Rd} \leq 2,5:$$

$$v = M_{pl,Rd} / M_{pl,a,Rd} = 2,00$$

$$v / 2,5 = \underline{\underline{0,80 \leq 1}}$$



Längsschub im Betongurt

$$\begin{aligned}\Delta F_d &= N_c / 2 &= 1400,5 \text{ kN} \\ \Delta x &= L / 2 &= 6,00 \text{ m} \\ h_f &= h - h_p &= 109 \text{ mm} \\ v_{Ed} &= \Delta F_d / (h_f * \Delta x) &= \mathbf{2,14 \text{ N/mm}^2} \\ \text{Nachweis der Druckstrebe} \\ v &= \text{WENN}(f_{ck} \leq 50; 0,75; 0,75 * (1,1 - f_{ck} / 500)) &= 0,75 \\ \cot \Theta &= &= 1,20 \\ \Theta_f &= \text{ATAN}(1 / \cot \Theta) &= 39,81^\circ \\ v_{Rd} &= v * f_{cd} * \text{SIN}(\Theta_f) * \text{COS}(\Theta_f) &= \mathbf{5,23 \text{ N/mm}^2} \\ v_{Ed} / v_{Rd} &= &= \mathbf{0,41 \leq 1}\end{aligned}$$

Ansatz der *durchlaufenden* Stahlprofilbleche als Querbewehrung möglich:



Vorgabe des Bewehrungsabstandes s_f und des Stabdurchmessers d_s :

$$\begin{aligned}s_f &= &= 250 \text{ mm} \\ d_s &= \text{GEW}(\text{"ec4_de/AsFläche"; ds; }) &= 10 \text{ mm} \\ A_{sf} &= \text{TAB}(\text{"ec4_de/As"; As; n=1; ds=ds}) &= 0,79 \text{ cm}^2 \\ a_s &= \text{GEW}(\text{"ec4_de/AsFläche"; Bez; d_s=d_s; e=sf/10; as>Asf;}) &= \mathbf{\varnothing 10 / e = 25} \\ a_{sf, \text{vorh}} &= \text{TAB}(\text{"ec4_de/AsFläche"; as; Bez=a_s}) &= 3,14 \text{ cm}^2/\text{m}\end{aligned}$$

Verformung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Für kurzzeitige Beanspruchung, Zeitpunkt $t = 0$:

$$n_0 = E_a / E_{cm} * 10 = 6,77$$

Endkriechzahl $\varphi(\infty, t_0)$ mit dem Belastungsalter $t_0 = 14$ Tage und für trockene Umgebungsbedingungen
Berechnung der wirksamen Bauteildicke h_0

$$\begin{aligned}A_c &= b_{\text{eff},1} * 10^3 * h &= 480,0 * 10^3 \text{ mm}^2 \\ u &= b_{\text{eff},1} * 10^3 &= 3000 \text{ mm} \\ h_0 &= 2 * A_c / u &= 320 \text{ mm} \\ \Rightarrow \varphi_{\infty, t_0} &= &= 2,7\end{aligned}$$

Endschwindmaß nach $t = \infty$

$$\varepsilon_{cs\infty} = 0,325 \text{ ‰}$$

Biegesteifigkeit EI des Verbundträgers

Stahlträger

$$\begin{aligned}h_a &= h_a * 10^{-1} &= 45,0 \text{ cm} \\ EI_a &= E_a * I_a * 10^{-4} &= 70854 \text{ kNm}^2\end{aligned}$$



Betongurt:

$$A_c = b_{\text{eff},1} \cdot h_c \cdot 10 = 3270 \text{ cm}^2$$

$$I_c = 1/12 \cdot b_{\text{eff},1} \cdot h_c^3 \cdot 10^{-1} = 32376 \text{ cm}^2$$

Abstand der Schwerpunkte von Betongurt und Stahlträger:

$$a_1 = 0,5 \cdot h_a + (h_p + 0,5 \cdot h_c) \cdot 10^{-1} = 33,0 \text{ cm}$$

Kurzzeitige Beanspruchung: *Index 0*



Berechnung der Durchbiegungen in Feldmitte

Beim Freisetzen der Hilfsstütze tritt zum Zeitpunkt $t = t_0 = 0$ folgende Durchbiegung auf:

$$F_B = (g_{k1} + g_{k2}) \cdot 1,25 \cdot L/2 = 113,85 \text{ kN}$$

$$f_{B0} = \frac{1}{48} \cdot \frac{F_B \cdot L^3}{E_{I_0}} \cdot 10^2 = 1,53 \text{ cm}$$

Aus der Ausbaulast $g_{k,3}$ und aus dem quasi-ständigen Anteil der Nutzlast ($\psi_2 \cdot q$) entsteht zum Zeitpunkt $t = 0$ die Durchbiegung:

$$\psi_2 = 0,40$$

$$f_{g0} = \frac{5}{384} \cdot \frac{(g_{k3} + \psi_2 \cdot q_k) \cdot L^4}{E_{I_0}} \cdot 10^2 = 1,50 \text{ cm}$$

aus der Verkehrslast (kurzzeitig wirkender Nutzlastanteil $(1 - \psi_2)$) zum Zeitpunkt $t = 0$:

$$f_q = \frac{5}{384} \cdot \frac{(1 - \psi_2) \cdot q_k \cdot L^4}{E_{I_0}} \cdot 10^2 = 1,09 \text{ cm}$$

Aus dem Entfernen der Hilfsstütze mit Kriechen zum Zeitpunkt $t = \infty$:

$$f_{B\infty} = f_{B0} \cdot E_{I_0} / E_{I_P} = 2,07 \text{ cm}$$

Aus $g_a + q_{\text{Ständig}}$ zum Zeitpunkt $t = \infty$:

$$f_{g\infty} = f_{g0} \cdot E_{I_0} / E_{I_P} = 2,03 \text{ cm}$$

Aus Schwinden zum Zeitpunkt $t = \infty$:

$$N_{cS} = A_c \cdot E_a / (n_0 \cdot (1 + 0,55 \cdot \varphi_{\infty, t_0})) \cdot \varepsilon_{cS\infty} \cdot 10^{-3} = 1327 \text{ kN}$$

$$a_{cS} = \frac{E_a \cdot A_a}{E_a \cdot A_a + E_S \cdot A_c} \cdot a_1 = 11,13 \text{ cm}$$

$$M_{cS} = N_{cS} \cdot a_{cS} \cdot 10^{-2} = 147,7 \text{ kNm}$$

$$f_S = \frac{1}{8} \cdot M_{cS} \cdot \frac{L^2}{E_{I_S}} \cdot 10^2 = 1,18 \text{ cm}$$



maximale Durchbiegung tritt zum Zeitpunkt $t = \infty$ und beträgt:

$$f_{\max} = f_{B\infty} + f_{g\infty} + f_S + f_q = 6,37 \text{ cm}$$

Der Träger sollte mindestens für die Durchbiegung aus ständiger Last ($t = 0$), besser noch für die quasi-ständige EWK überhöht werden:

gewählte Überhöhung:

$$\text{Überhöhung } f_0 = 3,00 \text{ cm}$$

⇒ maximale Durchbiegung mit Überhöhung (bezogen auf Systemlinie):

$$f = f_{\max} - f_0 = 3,37 \text{ cm}$$

$$\frac{f}{L/250} \cdot 10^{-2} = \underline{0,70 \leq 1}$$

Anteil der Kriechverformungen:

$$f_P = f_{B\infty} - f_{B0} + f_{g\infty} - f_{g0} = 1,07 \text{ cm}$$

Nach dem Freisetzen der Hilfsstütze und nach Aufbringen des 2. Eigengewichts sind unter der kurzzeitig wirkenden Nutzlast und infolge des Langzeitverhaltens des Betons folgende zusätzliche Durchbiegungen zu erwarten:

$$\Delta f = f_P + f_S + f_q = 3,34 \text{ cm}$$

Diese veränderlichen, mit der Zeit zunehmenden Durchbiegungen könnten beim Ausbau zu Schäden führen, wenn sie nicht berücksichtigt werden.

Nachweis der Eigenfrequenz



Berücksichtigung von Eigengewicht und Biegesteifigkeit des Verbundträgers unter Kurzzeitbelastung

Begrenzung der Rißbreite

Nachweis entfällt beim Einfeldträger!



Mindestbewehrung (Duktilitätsbewehrung bei Querschnittsklassen 1 und 2)

Es ist eine Mindestbewehrung nach DIN EN 1994-1-1:2010-12, 7.4.2 bzw. DIN EN 1992-1-1, 7.3.2(1) einzulegen.

Abstand der Schwerpunkte von Betongurt und Stahlträger des ungerissenen Querschnitts

$$a = \frac{0,5 \cdot h_a + (h_p + 0,5 \cdot h_c) \cdot 10^{-1}}{E_a \cdot A_a} = 33,0 \text{ cm}$$

$$a_c = \frac{E_a \cdot A_a + E_{cm} \cdot A_c \cdot 10^{-1}}{E_a \cdot A_a} \cdot a = 5,61 \text{ cm}$$

$$z_0 = a_c \cdot 10 = 56,10 \text{ mm}$$

$$k_c = \text{MIN}\left(\frac{1}{1 + \frac{h_c}{2 \cdot z_0}} + 0,3; 1\right) = 0,807$$

$$f_{ctm} = \text{TAB}(\text{"ec4_de/beton_ec2"}; f_{ctm}; \text{Bez}=\text{Beton}) = 2,60 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ct,eff} = f_{ctm} \cdot 10^{-1} = 0,26 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_{ct} = 100 \cdot h_c \cdot 10^{-1} = 1090 \text{ cm}^2/\text{m}$$

gewählt $\sigma_s = 36,0 \text{ kN/cm}^2$

$$A_s = 0,9 \cdot 0,8 \cdot k_c \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / \sigma_s = 4,57 \text{ cm}^2/\text{m}$$

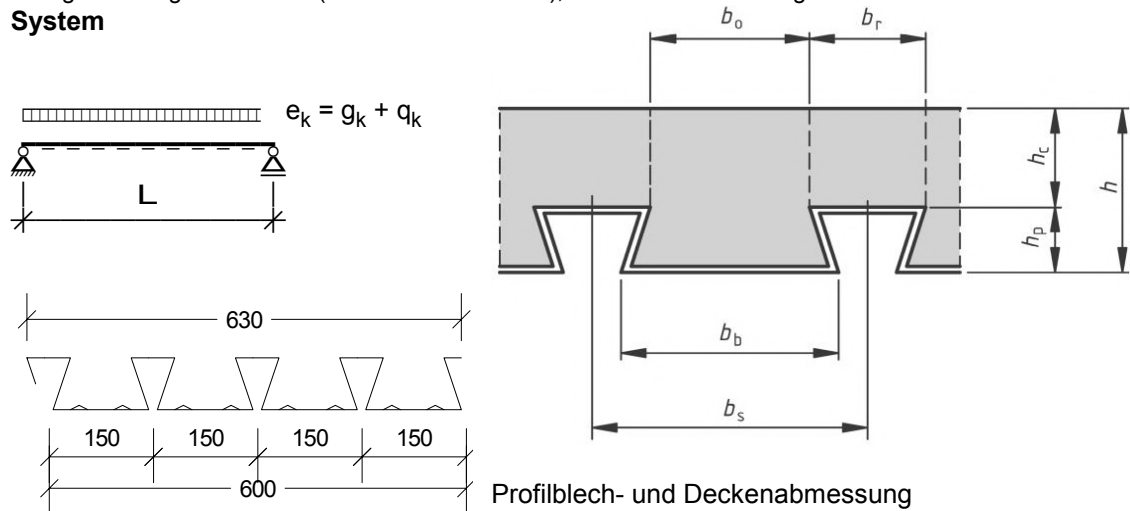
DIN EN 1994-1-1:2010-12, Tabelle 7.1 Grenzdurchmesser für Betonrippenstähle

| Stahlspannung σ_s N/mm ² | Grenzdurchmesser ϕ^* in mm für die maximal zulässige Rissbreite w_k | | |
|---|---|------------------------|------------------------|
| | $w_k = 0,4 \text{ mm}$ | $w_k = 0,3 \text{ mm}$ | $w_k = 0,2 \text{ mm}$ |
| 160 | 40 | 32 | 25 |
| 200 | 32 | 25 | 16 |
| 240 | 20 | 16 | 12 |
| 280 | 16 | 12 | 8 |
| 320 | 12 | 10 | 6 |
| 360 | 10 | 8 | 5 |
| 400 | 8 | 6 | 4 |
| 450 | 6 | 5 | |

Einfeld-Verbunddecke mit Holorib-Profilblech

Die Tragwirkung der betrachteten Decke ist durch Klemmwirkung und durch eine Endverankerung mit Blechverformungsankern gewährleistet (schubfester Verbund); siehe auch Zulassung Z-26 .1-4

System



Profilblech- und Deckenabmessung

Vorgabewerte

Lasten

| | |
|-------------------------------|------------------------|
| Eigengewicht Decke g_{k1} = | 4,50 kN/m ² |
| Ausbaulast g_{k2} = | 1,50 kN/m ² |
| Nutzlast q_k = | 5,00 kN/m ² |

Geometrie

| | |
|--------------------------|--------|
| Stützweite L = | 5,00 m |
| Gesamtstärke Decke h = | 180 mm |
| Auflagerbreite b_A = | 160 mm |

Profilblech

| | | |
|------------------|---------------------------------------|---------------------|
| Profilblech HS = | GEW("EC4_de/trapez";HS;HS="Holorib";) | = Holorib |
| Bezeichnung ID = | GEW("EC4_de/trapez";ID;HS=HS;) | Holorib 54/150-0.88 |

| | | |
|------------------------|--|-----------------------|
| Steckgrenze f_{yp} = | | 320 N/mm ² |
|------------------------|--|-----------------------|

| | | |
|--------------|--|------|
| γ_S = | | 1,10 |
|--------------|--|------|

| | | |
|--------------------------|---------------------|-------------------------|
| $\Rightarrow f_{yp,d} =$ | f_{yp} / γ_S | = 291 N/mm ² |
|--------------------------|---------------------|-------------------------|

| | | |
|--------------------------|--------------------|-------------|
| stat. Höhe Blech d_p = | $(h - 16,45) / 10$ | = 16,355 cm |
|--------------------------|--------------------|-------------|

| | | |
|-----------------------|--|-----------------------------|
| Trägheitsmom. I_p = | $10^4 \cdot \text{TAB}(\text{"EC4_de/trapez";}I_p;ID=ID)$ | = 621900 mm ⁴ /m |
|-----------------------|--|-----------------------------|

Plastisches Widerstandsmoment (pos Lage, nach DIN 18807-1 unter Berücksichtigung Beulschlankheit)

| | | |
|--------------|--|--------------|
| $M_{pl,p} =$ | $\text{TAB}(\text{"EC4_de/trapez";}M_{pl,p};ID=ID)$ | = 4,58 kNm/m |
|--------------|--|--------------|

| | | |
|--------------------|---|-----------|
| Blechdicke t_p = | $\text{TAB}(\text{"EC4_de/trapez";}t_N;ID=ID)$ | = 0,88 mm |
|--------------------|---|-----------|

| | | |
|---------------------|--|----------------------------|
| Profilblech A_p = | $\text{TAB}(\text{"EC4_de/trapez";}AG;ID=ID)$ | = 15,62 cm ² /m |
|---------------------|--|----------------------------|

| | | |
|-------------------------|---|---------|
| Profilblechhöhe h_p = | $\text{TAB}(\text{"EC4_de/trapez";}h;ID=ID)$ | = 51 mm |
|-------------------------|---|---------|

| | | |
|---------------------|-----------|----------|
| $\Rightarrow h_c =$ | $h - h_p$ | = 129 mm |
|---------------------|-----------|----------|

| | | |
|------------------------|---|---------|
| Obergurtbreite b_r = | $\text{TAB}(\text{"EC4_de/trapez";}b_O;ID=ID)$ | = 36 mm |
|------------------------|---|---------|

| | | |
|-------------------------|---|----------|
| Untergurtbreite b_o = | $\text{TAB}(\text{"EC4_de/trapez";}b_U;ID=ID)$ | = 138 mm |
|-------------------------|---|----------|

| | | |
|-----------------------|---|----------|
| Rippenabstand b_s = | $\text{TAB}(\text{"EC4_de/trapez";}b_R;ID=ID)$ | = 150 mm |
|-----------------------|---|----------|

Material

| | | |
|---------|--------------------------------|----------|
| Beton = | GEW("ec4_de/beton_ec2"; Bez;) | = C20/25 |
|---------|--------------------------------|----------|

| | | |
|------------|--|---------------------------|
| $f_{ck} =$ | $\text{TAB}(\text{"ec4_de/beton_ec2";}f_{ck};Bez=Beton)$ | = 20,00 N/mm ² |
|------------|--|---------------------------|

| | | |
|------------|--|---------------------------|
| $E_{cm} =$ | $\text{TAB}(\text{"ec4_de/beton_ec2";}E_{cm};Bez=Beton)$ | = 30000 N/mm ² |
|------------|--|---------------------------|

| | | |
|------------|--|---------------------------|
| $f_{cd} =$ | $\text{TAB}(\text{"ec4_de/beton_ec2";}f_{cd};Bez=Beton)$ | = 11,33 N/mm ² |
|------------|--|---------------------------|

| | | |
|--------------|--|------|
| $\gamma_C =$ | | 1,50 |
|--------------|--|------|

Bewehrung

| | | | |
|-------------------------|---------------------|---|-------------------------|
| $A_s =$ | | | 3,35 cm ² /m |
| stat. Höhe Bew. $d_s =$ | | | 12,00 cm |
| $f_{yk} =$ | | | 500 N/mm ² |
| $\gamma_S =$ | | | 1,15 |
| $\Rightarrow f_{yd} =$ | f_{yk} / γ_S | = | 435 N/mm ² |

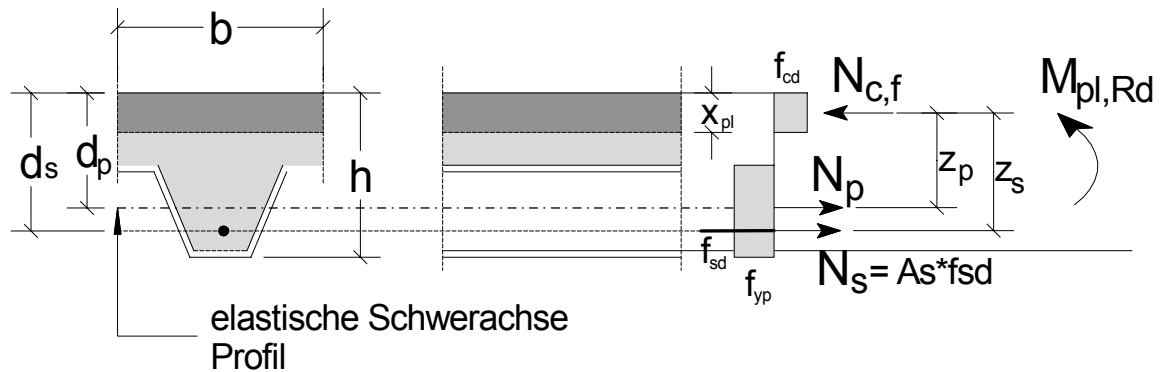
ständige / vorübergehende Bemessungssituation

| | | | |
|---------|--|---|-------------------------|
| $g_d =$ | $1,35 \cdot (g_{k1} + g_{k2})$ | = | 8,10 kN/m ² |
| $q_d =$ | $1,5 \cdot q_k$ | = | 7,50 kN/m ² |
| $e_d =$ | $1,35 \cdot (g_{k1} + g_{k2}) + 1,5 \cdot q_k$ | = | 15,60 kN/m ² |

Schnittgrößen:

| | | | |
|------------|-------------------------|---|-------------|
| $M_{Ed} =$ | $e_d \cdot L^2 / 8$ | = | 48,75 kNm/m |
| $V_{Ed} =$ | $0,5 \cdot e_d \cdot L$ | = | 39,00 kN/m |

Bemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit



Plastische Bemessungszugkraft im Profilblech

$$N_{pl,p} = A_p \cdot f_{yp,d} \cdot 10^{-1} = 454,5 \text{ kN/m}$$

Plastische Bemessungszugkraft im Bewehrungsstahl

$$N_{pl,s} = A_s \cdot f_{yd} \cdot 10^{-1} = 145,7 \text{ kN/m}$$

Höhe der zugehörigen Druckzone

$$x_{pl} = (N_{pl,p} + N_{pl,s}) / (f_{cd} \cdot 10) = 5,30 \text{ cm}$$

Innerer Hebelarm Profilblech

$$z_p = d_p - x_{pl} / 2 = 13,71 \text{ cm}$$

Innerer Hebelarm Bewehrungsstahl

$$z_s = d_s - x_{pl} / 2 = 9,35 \text{ cm}$$

Plastisches Widerstandsmoment bei voller Verdübelung ($\eta = 1,0$)

$$M_{pl,Rd,\eta1} = (N_{pl,p} \cdot z_p + N_{pl,s} \cdot z_s) \cdot 10^{-2} = 75,9 \text{ kNm/m}$$

Plastisches Widerstandsmoment bei Verdübelungsgrad $\eta = 0$

$$x_{pl} = N_{pl,s} / (f_{cd} \cdot 10) = 1,29 \text{ cm}$$

$$z_s = d_s - x_{pl} / 2 = 11,36 \text{ cm}$$

$$M_{pl,Rd,\eta0} = M_{pl,p} + N_{pl,s} \cdot z_s \cdot 10^{-2} = 21,1 \text{ kNm/m}$$

Bemessungswert der Verbundspannung

$$\tau_{u,Rd} = \text{TAB}(\text{"EC4_de/trapez";}\tau_{u,Rd};\text{ID=ID}) = 0,34 \text{ N/mm}^2$$

Erforderliche Verbundlänge bei voller Verdübelung

$$L_{sf} = N_{pl,p} / (\tau_{u,Rd} \cdot 1,0 \cdot 10^2) = 13,4 \text{ m}$$



$$P_{Rd} = \text{TAB}(\text{"EC4_de/PRd";PRd;t=tp}) = 29,3 \text{ kN}$$

$$v_{1,Rd} = P_{Rd} / (b_s \cdot 10^{-3}) = 195,3 \text{ kN/m}$$

$$l_{1,d} = v_{1,Rd} / (1,0 \cdot \tau_{u,Rd} \cdot 10^2) = 5,7 \text{ m}$$

Nachweis des widerstehenden Bemessungsmomentes an der Stelle der maximalen Einwirkung (hier: Feldmitte $x = L/2$)

$$M_{Rd,max} = M_{pl,Rd,\eta 0} + (M_{pl,Rd,\eta 1} - M_{pl,Rd,\eta 0}) / L_{Sf} \cdot (L / 2 + l_{1,d}) = 54,6 \text{ kNm/m}$$

Nachweis der Biegetragfähigkeit

$$M_{Ed} / M_{Rd,max} = \underline{\underline{0,89 \leq 1}}$$

Ermittlung der Querkrafttragfähigkeit

Der Nachweis der Querkrafttragfähigkeit erfolgt hier entsprechend DIN EN 1992-1-1. Die Verbunddecke wird als Stahlbetondecke ohne rechnerisch erforderliche Schubbewehrung betrachtet und das Profilblech vernachlässigt.

$$\text{reduzierte anrechenbare Breite}$$

$$b_w = (b_s - b_r) / b_s \cdot 10^2 = 76,0 \text{ cm/m}$$

$$\rho_1 = \text{MIN}\left(\frac{A_s}{b_w \cdot d_p}; 0,02\right) = 2,7 \cdot 10^{-3}$$

$$k = \text{MIN}\left(1 + \sqrt{\frac{200}{d_p \cdot 10}}; 2\right) = 2,00$$

$$\sigma_{cp} = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$C_{Rd,c} = 0,15 / \gamma_c = 0,1000$$

$$V_{Rd,c} = (C_{Rd,c} \cdot k \cdot 3 \cdot \sqrt{100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck}} + 0,12 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d_p \cdot 10^{-1} = 43,61 \text{ kN}$$

Bemessungsquerkraft bei direkter Stützung

$$V_{Ed,red} = V_{Ed} - (d_p \cdot 10^{-2} + b_A \cdot 10^{-3} / 2) \cdot (g_d + q_d) = 35,20 \text{ kN}$$

Nachweis

$$V_{Ed,red} / V_{Rd,c} = \underline{\underline{0,81 \leq 1}}$$

⇒ keine Querkraftbewehrung erforderlich!

Gebrauchstauglichkeitsnachweis der Verbunddecke

Die Verformungen werden nach DIN EN 1992-1-1, 7.4.1(4) auf $l/250$ der Ersatzstützweite l_{eff} begrenzt. Die Biegesteifigkeit wird vereinfacht mit dem Mittelwert der Flächenmomente 2. Grades des gerissenen und ungerissenen Querschnitts ermittelt. Der Einfluss des Kriechens wird bei der Ermittlung der Trägheitsmomente näherungsweise mit dem Reduktionsfaktor n_L berücksichtigt (DIN EN 1994-1-1, 5.4.2.2(2))

$$\text{relative Luftfeuchte RH} = 50 \%$$

$$\text{Belastungsbeginn } t_0 = 28 \text{ Tage}$$

wirksame Bauteildicke h_0 :

$$h_c = h - h_p = 129 \text{ mm}$$

$$40 / h_c = \underline{\underline{0,31 \leq 1}}$$

$$h_0 = 2 \cdot h_c = 258 \text{ mm}$$

Endkriechzahl $\varphi(\infty, t_0)$ ermittelt aus EC2-1-1, 3.1.4: Bild 3.1 b)

$$\varphi_{\infty, t_0} = 2,93$$

$$E_a = 210000 \text{ N/mm}^2$$

$$n_L = E_a / E_{cm} \cdot (1 + 0,55 \cdot \varphi_{\infty, t_0}) = 18,28$$

$$b_M = 10^3 \cdot (b_s - (b_r + b_s - b_b) / 2) / b_s = 840 \text{ mm/m}$$



Elastisch berechnete Querschnittseigenschaften

Ungerissener Querschnitt



Gerissener Querschnitt

$$x_c = \frac{n_L \cdot A_p}{1000} \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{2 \cdot 1000 \cdot d_p}{n_L \cdot A_p}} - 1 \right) = 72,2 \text{ mm}$$

$$I_{c,c} = \frac{1000 \cdot x_c^3}{3 \cdot n_L} + A_p \cdot (d_p - x_c)^2 + I_p = 20519515 \text{ mm}^4/\text{m}$$

wirksame Biegesteifigkeit

$$EI_w = (E_a \cdot I_{c,u} + E_a \cdot I_{c,c})/2 = 6,006 \cdot 10^{12} \text{ N/mm}^2$$

Verformungsanteile

Entfernen der Hilfsstütze in Feldmitte

$$F_{g1} = g_{k1} \cdot L/2 = 11,25 \text{ kN/m}$$

$$f_{g1} = \frac{1}{48} \cdot F_{g1} \cdot 10^3 \cdot \frac{(L \cdot 10^3)^3}{EI_w} = 4,88 \text{ mm}$$

Ausbaulasten

$$f_{g2} = \frac{5}{384} \cdot g_{k2} \cdot \frac{(L \cdot 10^3)^4}{EI_w} = 2,03 \text{ mm}$$

Veränderliche Lasten

$$f_q = \frac{5}{384} \cdot q_k \cdot \frac{(L \cdot 10^3)^4}{EI_w} = 6,77 \text{ mm}$$

Gesamtverformung

$$f_{ges} = f_{g1} + f_{g2} + f_q = 13,68 \text{ mm}$$

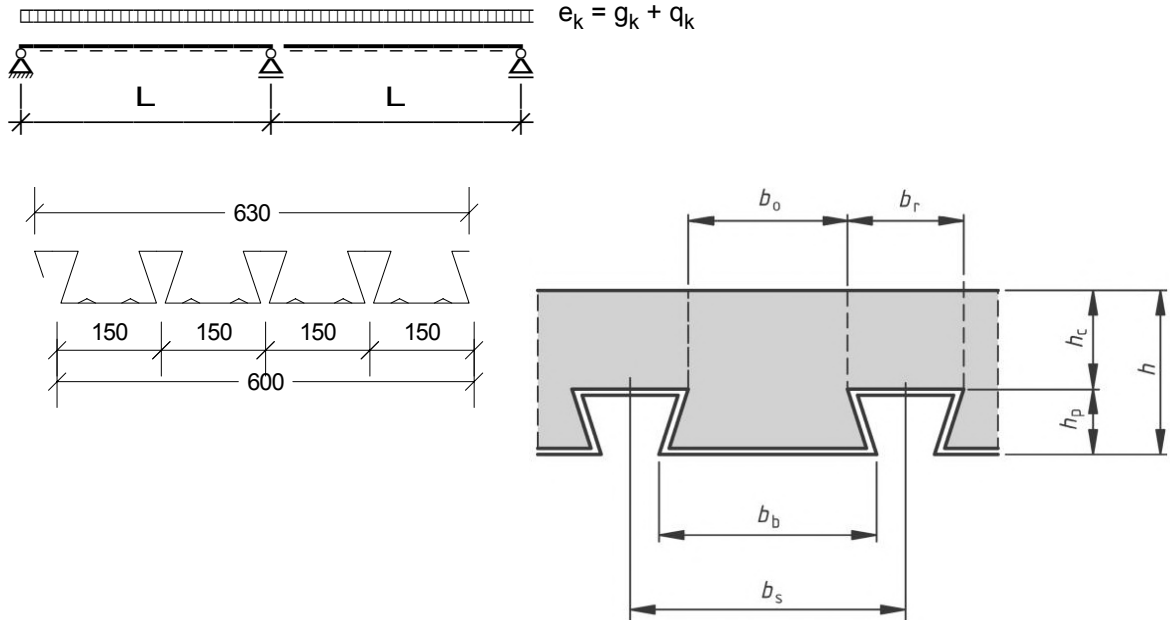
Nachweis (zul $f = L/250$)

$$f_{ges} / (L \cdot 10^3 / 250) = \underline{\underline{0,68 \leq 1}}$$

Zweifeld Verbunddecke mit Holorib-Profilblech

Die Tragwirkung der betrachteten Decke ist durch Klemmwirkung und durch eine Endverankerung mit Blechverformungsankern gewährleistet (schubfester Verbund); siehe auch Zulassung Z-26 .1-4

System



Profilblech- und Deckenabmessung

Vorgabewerte

Lasten

| | |
|-------------------------------|------------------------|
| Eigengewicht Decke g_{k1} = | 4,00 kN/m ² |
| Ausbaulast g_{k2} = | 1,50 kN/m ² |
| Nutzlast q_k = | 5,00 kN/m ² |

Geometrie

| | |
|----------------------------------|----------|
| Stützweite L = | 5,00 m |
| Gesamtstärke Decke h = | 160 mm |
| Auflagerbreite b_A = | 160 mm |
| stat. Höhe Bew. Feld $d_{s,F}$ = | 10,00 cm |
| Betondeckung $c_{s,1}$ = | 3,00 cm |

Profilblech

| | |
|------------------------|---|
| Bezeichnung ID = | GEW("EC4_de/trapez";ID;HS="Holorib;") Holorib 54/150-0.88 |
| Steckgrenze f_{yp} = | 320 N/mm ² |

| | | |
|--------------------------|--|-----------------------------|
| γ_S = | | 1,10 |
| $\Rightarrow f_{yp,d} =$ | f_{yp} / γ_S | = 291 N/mm ² |
| stat. Höhe Blech d_p = | $(h - 16,45) / 10$ | = 14,36 cm |
| Trägheitsmom. I_p = | $10^4 \cdot \text{TAB}(\text{"EC4_de/trapez";}I_p;ID=ID)$ | = 621900 mm ⁴ /m |

Plastisches Widerstandsmoment (pos Lage, nach DIN 18807-1 unter Berücksichtigung Beulschlankeit)

| | | |
|-------------------------|--|----------------------------|
| $M_{pl,p}$ = | $\text{TAB}(\text{"EC4_de/trapez";}M_{pl,p};ID=ID)$ | = 4,58 kNm/m |
| Blechdicke t_p = | $\text{TAB}(\text{"EC4_de/trapez";}t_N;ID=ID)$ | = 0,88 mm |
| Profilblech A_p = | $\text{TAB}(\text{"EC4_de/trapez";}A_G;ID=ID)$ | = 15,62 cm ² /m |
| Profilblechhöhe h_p = | $\text{TAB}(\text{"EC4_de/trapez";}h;ID=ID)$ | = 51 mm |
| Obergurtbreite b_r = | $\text{TAB}(\text{"EC4_de/trapez";}b_O;ID=ID)$ | = 36 mm |
| Untergurtbreite b_b = | $\text{TAB}(\text{"EC4_de/trapez";}b_U;ID=ID)$ | = 138 mm |
| Rippenabstand b_s = | $\text{TAB}(\text{"EC4_de/trapez";}b_R;ID=ID)$ | = 150 mm |



| | | | |
|--------------|--|---|-------------------------|
| Material | | | |
| Beton = | GEW("EC2_de/beton_ec2"; Bez;) | = | C20/25 |
| f_{ck} = | TAB("ec2_de/beton_ec2"; fck;Bez=Beton) | = | 20,00 N/mm ² |
| f_{cd} = | TAB("ec2_de/beton_ec2"; fcd;Bez=Beton) | = | 11,33 N/mm ² |
| γ_C = | | | 1,50 |

Bewehrung

| | | | |
|------------------------|---------------------|---|-------------------------|
| $A_{s,F}$ = | | | 3,35 cm ² /m |
| f_{yk} = | | | 500 N/mm ² |
| γ_S = | | | 1,15 |
| $\Rightarrow f_{yd}$ = | f_{yk} / γ_S | = | 435 N/mm ² |

Schnittgrößenermittlung

| | | | |
|---------|--|---|-------------------------|
| g_d = | $1,35 * (g_{k1} + g_{k2})$ | = | 7,42 kN/m ² |
| q_d = | $1,5 * q_k$ | = | 7,50 kN/m ² |
| e_d = | $1,35 * (g_{k1} + g_{k2}) + 1,5 * q_k$ | = | 14,93 kN/m ² |

Schnittgrößen:

| | | | |
|-------------------|---|---|--------------|
| $\max M_{F,d}$ = | $(0,07 * 1,35 * (g_{k1} + g_{k2}) + 0,096 * 1,5 * q_k) * L^2$ | = | 30,99 kNm/m |
| $\max M_{St,d}$ = | $-0,125 * (1,35 * (g_{k1} + g_{k2}) + 1,5 * q_k) * L^2$ | = | -46,64 kNm/m |
| $\max A_d$ = | $(0,375 * 1,35 * (g_{k1} + g_{k2}) + 0,438 * 1,5 * q_k) * L$ | = | 30,35 kN/m |
| $\max V_d$ = | $0,625 * (1,35 * (g_{k1} + g_{k2}) + 1,5 * q_k) * L$ | = | 46,64 kN/m |

Umlagerung der Stützmomente um $\delta = 5\%$

(Maximalwert der Umlagerung für normalduktilen Stahl $\delta = 0,85$)

| | | | |
|------------------|-------------------|---|-------------|
| $M_{St,d,red}$ = | $0,95 * M_{St,d}$ | = | -44,31 kN/m |
|------------------|-------------------|---|-------------|

zugehörige Schnittgrößen

| | | | |
|-------------|---|---|------------|
| B_d = | $(1,35 * (g_{k1} + g_{k2}) + 1,5 * q_k) * L + 2 * \text{ABS}(M_{St,d,red}) / L$ | = | 92,35 kN/m |
| A_d = | $0,5 * (1,35 * (g_{k1} + g_{k2}) + 1,5 * q_k) * L + M_{St,d,red} / L$ | = | 28,45 kN/m |
| V_d = | $B_d / 2$ | = | 46,17 kN/m |
| $M_{F,d}$ = | $A_d^2 / (2 * (1,35 * (g_{k1} + g_{k2}) + 1,5 * q_k))$ | = | 27,12 kN/m |

Momentenausrundung bei anrechenbarer Auflagerbreite b_A

| | | | |
|-------------------|--|---|------------|
| $\max M_{St,d}$ = | $M_{St,d,red} - (B_d * b_A * 10^{-3} / 8)$ | = | -42,5 kN/m |
|-------------------|--|---|------------|

Bemessungsschnittgrößen

Feldmoment:

| | | | |
|-------------|-------------------------------------|---|-------------|
| $M_{F,d}$ = | $\text{MAX}(M_{F,d}; \max M_{F,d})$ | = | 30,99 kNm/m |
|-------------|-------------------------------------|---|-------------|

Stützmoment:

| | | | |
|--------------|------------|---|--------------|
| $M_{St,d}$ = | $M_{St,d}$ | = | -42,50 kNm/m |
|--------------|------------|---|--------------|

Querkraft am Auflager:

| | | | |
|--------------|-------|---|------------|
| $V_{Ed,A}$ = | A_d | = | 28,45 kN/m |
|--------------|-------|---|------------|

Querkraft am Zwischenauflager:

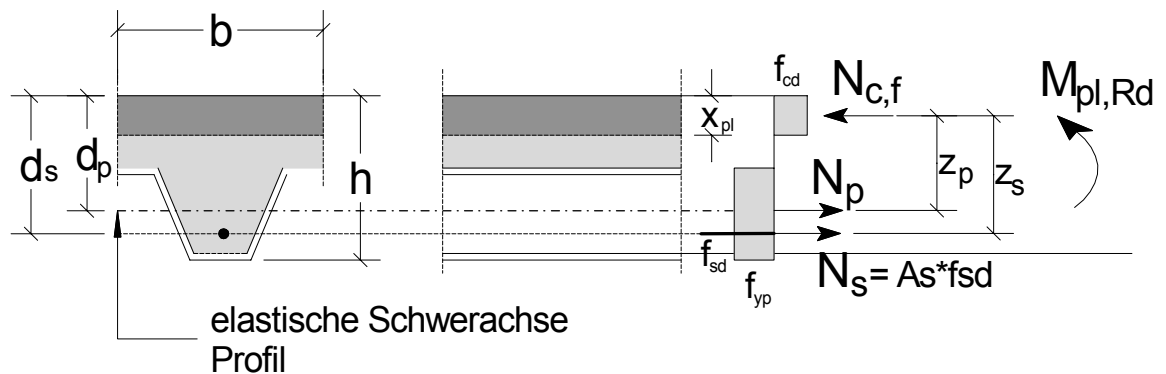
| | | | |
|--------------|-------|---|------------|
| $V_{Ed,B}$ = | V_d | = | 46,17 kN/m |
|--------------|-------|---|------------|

maßgebendes Feldmoment an der Stelle:

| | | | |
|--------------|--------------------------|---|--------|
| $l_{M,Ed}$ = | $V_{Ed,A} / (g_d + q_d)$ | = | 1,91 m |
|--------------|--------------------------|---|--------|

Tragsicherheitsnachweis für die Verbunddecke

Momententragfähigkeit im Feldbereich



Plastische Bemessungszugkraft im Profilblech

$$N_{pl,p} = A_p \cdot f_{yp,d} \cdot 10^{-1} = 454,5 \text{ kN/m}$$

Plastische Bemessungszugkraft im Bewehrungsstahl

$$N_{pl,s} = A_{s,F} \cdot f_{yd} \cdot 10^{-1} = 145,7 \text{ kN/m}$$

Höhe der zugehörigen Betondruckzone

$$x_{pl} = (N_{pl,p} + N_{pl,s}) / (f_{cd} \cdot 10) = 5,30 \text{ cm}$$

Innerer Hebelarm Profilblech

$$z_p = d_p - x_{pl} / 2 = 11,71 \text{ cm}$$

Innerer Hebelarm Bewehrungsstahl

$$z_s = d_{s,F} - x_{pl} / 2 = 7,35 \text{ cm}$$

Plastisches Widerstandsmoment bei voller Verdübelung ($\eta = 1,0$)



Software zur Dokumentation und Berechnung

cmaster

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

Verbundkraft der Blechverformungsanker

$$P_{Rd} = \text{TAB}(\text{"EC4_de/PRd";PRd;t=tp}) = 29,3 \text{ kN}$$

$$v_{1,Rd} = P_{Rd} / (b_s \cdot 10^{-3}) = 195,3 \text{ kN/m}$$

Virtuelle Vorblechlänge der Blechverformungsanker

$$l_{1,d} = v_{1,Rd} / (1,0 \cdot \tau_{u,Rd} \cdot 10^2) = 5,7 \text{ m}$$

Nachweis des widerstehenden Bemessungsmomentes an der Stelle der maximalen Einwirkung

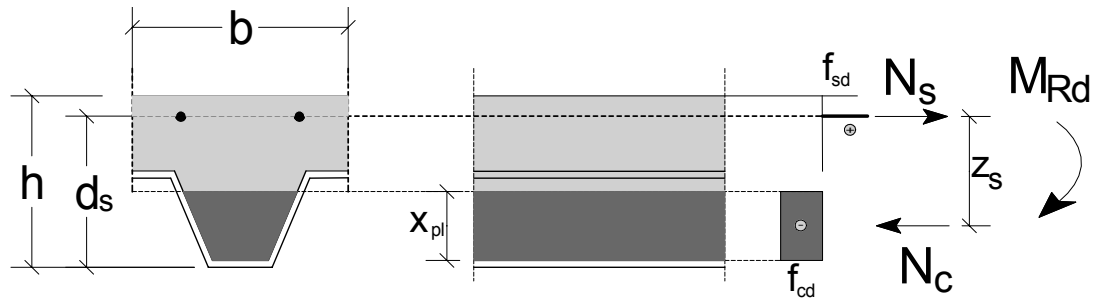
$$x = 0,375 \cdot L = 1,88 \text{ m}$$

$$M_{Rd,x} = M_{pl,Rd,\eta 0^+} (M_{pl,Rd,\eta 1^-} - M_{pl,Rd,\eta 0}) / L_{Sf} \cdot (x + l_{1,d}) = 44,1 \text{ kNm/m}$$

Nachweis der Biegetragfähigkeit

$$M_{F,d} / M_{Rd,x} = \underline{0,70} \leq 1$$

Momententragfähigkeit im Stützbereich



Betondeckung
 $c_{s,1} = c_{s,1} * 10 = 30 \text{ mm}$

mittlere Sickenbreite
 $b_{S1} = (b_s - b_b + b_r) / 2 = 24 \text{ mm}$

Mitwirkende Plattenbreite (kammartiger Querschnitt)
 $b_M = (b_s - b_{S1}) / b_s * 10^2 = 84 \text{ cm/m}$

Statische Nutzhöhe
 $d_{s,St} = (h - c_{s,1}) * 10^{-1} = 13,00 \text{ cm}$

Bemessungsstützmoment
 $M_{St,d} = ABS(M_{St,d}) * 100 = 4250 \text{ kNcm/m}$

Kontrolle der Zulässigkeit der Momentenumlagerung von 5%
 Ermittlung der Druckzonenhöhe mit dem Spannungsblochverfahren

$$x_{pl,2} = d_{s,St} - \sqrt{d_{s,St}^2 - 2 * \frac{M_{St,d}}{b_M * f_{cd} * 10^{-1}}} = 4,07 \text{ cm}$$

$$\delta = 0,64 + 0,8 * (x_{pl,2} / d_{s,St}) = 0,89$$

$$a_{so,erf} = \frac{M_{St,d}}{d_{s,St} - \frac{x_{pl,2}}{2}} * \frac{1}{43,5} = 8,91 \text{ cm}^2/\text{m}$$

gewählte Biegezugbewehrung:

| | |
|-------------|-----------------------------|
| über Stütze | gew. Matte R524 A + R 424 A |
|-------------|-----------------------------|

$$a_{so,vorh} = 9,48 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$a_{so,erf} / a_{so,vorh} = \underline{\underline{0,94 \leq 1}}$$

Querkrafttragfähigkeit über dem Zwischenaufleger

Der Nachweis der Querkrafttragfähigkeit erfolgt hier entsprechend DIN EN 1992-1-1. Die Verbunddecke wird als Stahlbetondecke ohne rechnerisch erforderliche Schubbewehrung betrachtet und das Profilblech vernachlässigt.

reduzierte anrechenbare Breite
 $b_w = (b_s - b_r) / b_s * 10^2 = 76,0 \text{ cm/m}$

$$\rho_1 = \text{MIN}\left(\frac{a_{so,vorh}}{b_w * d_{s,St}}; 0,02\right) = 9,60 * 10^{-3}$$

$$k = \text{MIN}\left(1 + \sqrt{\frac{200}{d_p * 10}}; 2\right) = 2,00$$

$$\sigma_{cp} = 0,00 \text{ N/mm}^2$$



$$C_{Rd,c} = 0,15 / \gamma_C = 0,1000$$

$$V_{Rd,c} = (C_{Rd,c} * k * 3 * \sqrt{100 * \rho_1 * f_{ck}} + 0,12 * \sigma_{cp}) * b_w * d_{s,St} * 10^{-1} = 52,91 \text{ kN}$$

Nachweis

$$V_{Ed,B} / V_{Rd,c} = \underline{0,87 \leq 1}$$

⇒ keine Querkraftbewehrung erforderlich!

Querkrafttragfähigkeit über dem Endauflager

$$b_w = (b_s - b_r) / b_s * 10^2 = 76,0 \text{ cm/m}$$

$$\rho_1 = \text{MIN}\left(\frac{A_{s,F}}{b_w * d_p}; 0,02\right) = 3,07 * 10^{-3}$$

$$k = \text{MIN}\left(1 + \sqrt{\frac{200}{d_p * 10}}; 2\right) = 2,00$$

$$\sigma_{cp} = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$C_{Rd,c} = 0,15 / \gamma_C = 0,1000$$

$$V_{Rd,c} = (C_{Rd,c} * k * 3 * \sqrt{100 * \rho_1 * f_{ck}} + 0,12 * \sigma_{cp}) * b_w * d_p * 10^{-1} = 39,97 \text{ kN}$$

Nachweis

$$V_{Ed,A} / V_{Rd,c} = \underline{0,71 \leq 1}$$

⇒ keine Querkraftbewehrung erforderlich!

Gebrauchstauglichkeitsnachweis der Verbunddecke

Rißbreitenbeschränkung

Nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 7.3.3 kann der Nachweis entfallen, da die vorhandene Plattendicke < 200 mm ist.

$$h / 200 = \underline{0,80 \leq 1}$$

Begrenzung der Rißbreite für die statisch erforderliche Bewehrung



modifizierter Grenzdurchmesser

$$d_{s,lim} = \text{MAX}(d_s' * (\sigma_{s,perm} * a_{so,vorh} * 10^{-4}) / (4 * (h - d_{s,St}) * 1 * f_{ct0}); d_s' * f_{ct,eff} / f_{ct0}) = \underline{27,13 \text{ mm}}$$

Beschränkung der Verformung

hier vereinfacht durch Einhaltung der Grenzwerte der Biegeschlankheit DIN EN 1992-1-1; 7.4.2(2)

⇒ keine erhöhten Anforderungen an die Verformungsbegrenzung

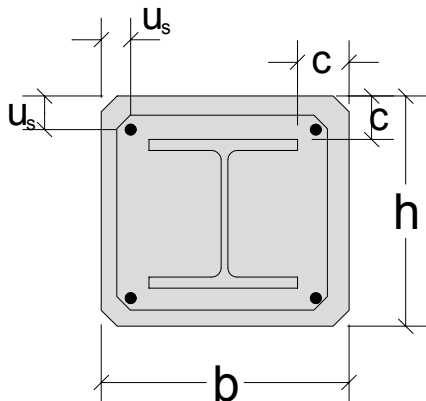
$$l_{i,vorh} = 0,8 * L = 4,00 \text{ m}$$

$$(l_{i,vorh} * 10^2 / d_p) / 35 = \underline{0,80 \leq 1}$$

Kapitel Brandschutz

Verbundstütze mit vollständig einbetoniertem Stahlquerschnitt

einfacher Nachweis nach DIN EN 1994-1-2, Tabelle 4.4



Vorgaben

Querschnitt und Bewehrung:

Stützenquerschnitt $b = 290 \text{ mm}$

Stützenquerschnitt $h = 350 \text{ mm}$

Achsabstand Bew. $u_s = 30 \text{ mm}$

Betonüberdeckung Profil $c = 55 \text{ mm}$

geforderte Feuerwiderstandsklasse

$R = \text{GEW}(\text{"ec4_de/Rverb44"}; \text{Bez};) = \mathbf{R90}$

Überprüfung der Mindestwerte nach DIN EN 1994-1-2, Tab. 4.4

$b_{\min} = \text{TAB}(\text{"ec4_de/Rverb44"}; b_{\min}; \text{Bez}=R) = 220 \text{ mm}$

$h_{\min} = b_{\min} = 220 \text{ mm}$

$b_{\min}/b = \mathbf{0,76 \leq 1}$

$h_{\min}/h = \mathbf{0,63 \leq 1}$

$c_{\min} = \text{TAB}(\text{"ec4_de/Rverb44"}; c_{\min}; \text{Bez}=R) = 50 \text{ mm}$

$c_{\min}/c = \mathbf{0,91 \leq 1}$

$u_{s,\min} = \text{TAB}(\text{"ec4_de/Rverb44"}; u_{s,\min}; \text{Bez}=R) = 30 \text{ mm}$

$u_{s,\min}/u_s = \mathbf{1,00 \leq 1}$

Alternativ

$b_{\min} = \text{TAB}(\text{"ec4_de/Rverb44"}; b_{\min 1}; \text{Bez}=R) = 250 \text{ mm}$

$h_{\min} = b_{\min} = 250 \text{ mm}$

$b_{\min}/b = \mathbf{0,86 \leq 1}$

$h_{\min}/h = \mathbf{0,71 \leq 1}$

$c_{\min} = \text{TAB}(\text{"ec4_de/Rverb44"}; c_{\min 1}; \text{Bez}=R) = 40 \text{ mm}$

$c_{\min}/c = \mathbf{0,73 \leq 1}$

$u_{s,\min} = \text{TAB}(\text{"ec4_de/Rverb44"}; u_{s,\min 1}; \text{Bez}=R) = 20 \text{ mm}$

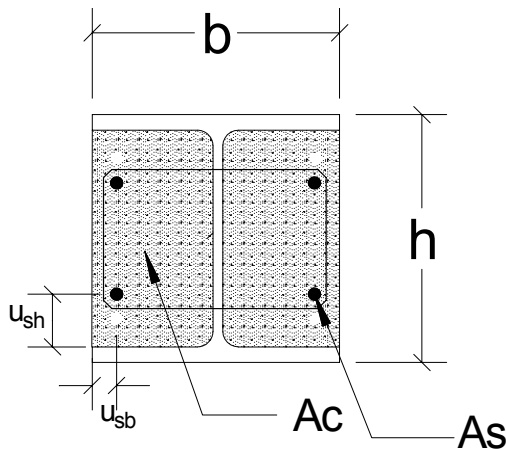
$u_{s,\min}/u_s = \mathbf{0,67 \leq 1}$

Beachte:

Bei Werten $u_s = 20 \text{ mm}$ ist DIN EN 1992-1-1; 4.4.1.2 zu überprüfen!

Verbundstütze mit teilweise einbetoniertem Stahlquerschnitt

einfacher Nachweis nach DIN EN 1994-1-2, Tabelle 4.6



Vorgaben

Querschnitt und Bewehrung:

| | |
|-----------------------------|-----------------------|
| vorhandene Bew. A_s = | 19,56 cm ² |
| Achsabstand Bew. u_{sb} = | 50 mm |
| Achsabstand Bew. u_{sh} = | 60 mm |

Stahlprofil:

| | | | |
|-----------------|--------------------------------|---|------------------------|
| Typ1 = | GEW("ec4_de/Profile";ID;) | = | HEB |
| Profil ID1 = | GEW("ec4_de"/Typ1; ID;) | = | HEB 300 |
| Höhe h = | TAB("ec4_de"/Typ1; h; ID=ID1) | = | 300,00 mm |
| Breite b = | TAB("ec4_de"/Typ1; b; ID=ID1) | = | 300,00 mm |
| Steg t_w = | TAB("ec4_de"/Typ1; tw; ID=ID1) | = | 11,00 mm |
| Flansch t_f = | TAB("ec4_de"/Typ1; tf; ID=ID1) | = | 19,00 mm |
| A_a = | TAB("ec4_de"/Typ1; A; ID=ID1) | = | 149,00 cm ² |

 Lastausnutzungsfaktor im Brandfall ($E_{fi,d,t} / R_d$)

| | |
|-----------------|-------------|
| $\eta_{fi,t}$ = | 0,30 |
|-----------------|-------------|

Brandschutznachweis nach Tab. 4.6, DIN EN 1992-1-2, 4.2.3.3

 Ermittlung der Eingangswerte für die Tabelle
 Mindestverhältnis von Steg- zu Flanschdicke

$$0,5 / (t_w / t_f) = \underline{0,86 \leq 1}$$

Mindestbewehrungsgrad

$$A_c = b \cdot h \cdot 10^{-2} - A_a - A_s = 731 \text{ cm}^2$$

$$A_s / (A_c + A_s) \cdot 10^2 = 2,61 \%$$

Mindestabstand der Bewehrungsstäbe

$$u_s = \text{MIN}(u_{sb}; u_{sh}) = 50 \text{ mm}$$

$$\text{Mindestquerschnittsabmessung: MIN}(h; b) = 300 \text{ mm}$$

Gemäß Tab. 4.6 ergibt sich eine

Feuerwiderstandsklasse R30



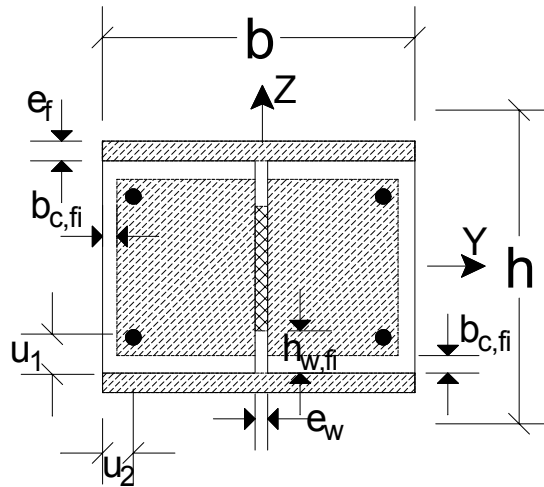
Tabelle 4.6 — Mindestquerschnittsabmessungen, Mindestachsabstand der Bewehrung und Mindestbewehrungsgrad von Verbundstützen mit Kammerbeton

| | Feuerwiderstandsklasse | R30 | R60 | R90 | R120 |
|-----|--|-----|-----|-----|------|
| 1 | Mindestquerschnittsabmessungen für den | 160 | 200 | 300 | 400 |
| 1.1 | Lastausnutzungsfaktor $\eta_{fi,t} \leq 0,28$ | - | 50 | 50 | 70 |
| 1.2 | Mindestabmessungen h und b in mm | - | 4 | 3 | 4 |
| 1.3 | Mindestachsabstand der Bewehrungsstäbe u_s in mm Mindestbewehrungsgrad $A_s/(A_c+A_s)$ in % | | | | |
| 2 | Mindestquerschnittsabmessungen für den | 160 | 300 | 400 | - |
| 2.1 | Lastausnutzungsfaktor $\eta_{fi,t} \leq 0,47$ | - | 50 | 70 | - |
| 2.2 | Mindestabmessungen h und b in mm | - | 4 | 4 | - |
| 2.3 | Mindestachsabstand der Bewehrungsstäbe u_s in mm Mindestbewehrungsgrad $A_s/(A_c+A_s)$ in % | | | | |
| 3 | Mindestquerschnittsabmessungen für den Lastausnutzungsfaktor $\eta_{fi,t} \leq 0,66$ | | | | |
| 3.1 | Mindestabmessungen h und b in mm | 160 | 400 | - | - |
| 3.2 | Mindestachsabstand der Bewehrungsstäbe u_s in mm | 40 | 70 | - | - |
| 3.3 | Mindestbewehrungsgrad $A_s/(A_c+A_s)$ in % | 1 | 4 | - | - |

Die in den Tabellen 4.2, 4.4, 4.6 und 4.7 angegebenen Zahlenwerte sind Mindestmaße für die brandschutztechnische Bemessung. Sie gelten zusätzlich zu den Bewehrungsregeln nach DIN EN 1992-1-1.

Feuerwiderstand kammerbetonierter Verbundstütze

vereinfachtes Verfahren nach DIN EN 1994-1-2, Anhang G; Biegeknicken um die schwache Achse; allseitige Brandbeanspruchung nach ETK



Vorgaben

| | | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|---|------------|
| Geometrie | | | |
| Stützweite L = | | | 4,50 m |
| Querschnitt und Bewehrung: | | | |
| gew. d_s = | GEW("ec4_de/As"; ds ;) | = | 28 mm |
| Stabanzahl n = | GEW("ec4_de/As"; n; n ≥ 4) | = | 6,0 |
| Achsabstand Bew. u_1 = | | | 45 mm |
| Achsabstand Bew. u_2 = | | | 45 mm |
| Stahlprofil: | | | |
| Typ1 = | GEW("ec4_de/Profile"; ID;) | = | HEA |
| Profil ID1 = | GEW("ec4_de/"Typ1; ID;) | = | HEA 360 |
| Stahl = | GEW("ec4_de/mat"; ID;) | = | S 355 |
| Beton | | | |
| Beton = | GEW("ec4_de/beton_ec2"; Bez;) | = | C50/60 |
| geforderte Feuerwiderstandsklasse | | | |
| R = | GEW("ec4_de/Rverb44"; Bez;) | = | R90 |

Einwirkungen

| | | | |
|--|--|---|---------|
| ständige Einwirkung | | | |
| F_G = | | | 2100 kN |
| veränderliche Einwirkung | | | |
| F_Q = | | | 900 kN |
| Bemessungswert der maßgebenden Einwirkungskombination im Brandfall | | | |
| Kombinationsfaktor $\psi_{1,1}$ = | | | 0,50 |
| $N_{fi,d,t}$ = | $1,0 \cdot F_G + 1,0 \cdot \psi_{1,1} \cdot F_Q$ | = | 2550 kN |

Querschnittswerte

| | | | |
|------------|---|---|--------------------------|
| Bewehrung: | | | |
| A_s = | $n \cdot \pi/4 \cdot d_s^2 \cdot 10^{-2}$ | = | 36,9 cm ² |
| E_s = | | | 20000 kN/cm ² |
| f_{sy} = | | | 50 kN/cm ² |



Stahlprofil:

| | | | |
|-----------------|---|---|--------------------------|
| Höhe h = | TAB("ec4_de/"Typ1; h; ID=ID1) | = | 350,0 mm |
| Breite b = | TAB("ec4_de/"Typ1; b; ID=ID1) | = | 300,0 mm |
| Steg e_w = | TAB("ec4_de/"Typ1; tw; ID=ID1) | = | 10,0 mm |
| Flansch e_f = | TAB("ec4_de/"Typ1; tf; ID=ID1) | = | 17,5 mm |
| A_a = | TAB("ec4_de/"Typ1; A; ID=ID1) | = | 143,0 cm ² |
| f_{ay} = | TAB("ec4_de/mat"; f_{yk} ; ID=Stahl)/10 | = | 35,5 kN/cm ² |
| E_a = | TAB("ec4_de/mat"; E; ID=Stahl)/10 | = | 21000 kN/cm ² |

Beton

| | | | |
|---|--|---|-------------------------|
| f_{ck} = | TAB("ec4_de/beton_ec2"; fck;Bez=Beton) | = | 50 N/mm ² |
| A_c = | $b * h * 10^{-2}$ - Aa -As | = | 870 cm ² |
| E_{cm} = | TAB("ec4_de/beton_ec2"; Ecm;Bez=Beton) | = | 37000 N/mm ² |
| f_{cd} = | TAB("ec4_de/beton_ec2"; fcd;Bez=Beton) | = | 28,33 N/mm ² |
| Knicklänge nach DIN EN 1994-1-2, 4.3.5.1 (8- 10): | | | |
| l_{ϕ} = | $0,5 * L$ | = | 2,25 m |

Überprüfung der Anwendungsgrenzen nach DIN EN 1994-1-2, Anhang G.8



Es wird ein ausgesteiftes Tragwerk vorausgesetzt!

Flansche des Stahlquerschnitts

Berechnung der durchschnittlichen Flanschtemperatur:

| | | | |
|-----------|-------------------------|---|-----------------------|
| A_m = | $2 * (h + b) * 10^{-3}$ | = | 1,30 m |
| V = | $h * b * 10^{-6}$ | = | 0,105 m ² |
| $A_m V$ = | A_m / V | = | 12,38 m ⁻¹ |

Temperatur und empirischer Koeffizient nach DIN EN 1994-1-2:2010-12, Tab. G.1:

| | | | |
|------------------|-----------------------------|---|---------------------|
| $\Theta_{o,t}$ = | TAB("EC4_de/G.1"; Fiot;R=R) | = | 805 °C |
| k_t = | TAB("EC4_de/G.1"; kt;R=R) | = | 6,15 m ⁰ |

⇒ durchschnittliche Flanschtemperatur:

| | | | |
|------------------|------------------------------|---|----------|
| $\Theta_{f,t}$ = | $\Theta_{o,t} + k_t * A_m V$ | = | 881,1 °C |
|------------------|------------------------------|---|----------|

Reduktionsfaktor nach DIN EN 1994-1-2:2010-12, Tab. 3.2:

| | | | |
|----------------|---|---|--------|
| $k_{y,\phi}$ = | TAB("EC4_de/kFi"; ky,Fi;Fia= $\Theta_{f,t}$) | = | 0,0694 |
| $k_{E,\phi}$ = | TAB("EC4_de/kFi"; kE,Fi;Fia= $\Theta_{f,t}$) | = | 0,0718 |

Streckgrenze und E-Modul des Flansches:

| | | | |
|----------------|-----------------------|---|-------------------------|
| $f_{ay,f,t}$ = | $f_{ay} * k_{y,\phi}$ | = | 2,46 kN/cm ² |
| $E_{a,f,t}$ = | $E_a * k_{E,\phi}$ | = | 1508 kN/cm ² |

Bemessungswert der plastischen Grenznormalkraft:

| | | | |
|--------------------|--|---|--------|
| $N_{fi,pl,Rd,f}$ = | $2 * b * e_f * f_{ay,f,t} / 1,0 * 10^{-2}$ | = | 258 kN |
|--------------------|--|---|--------|

Biegesteifigkeit des Flanschschnitts:

| | | | |
|-----------------|---------------------------------------|---|-----------------------|
| $EI_{fi,f,z}$ = | $E_{a,f,t} * e_f * b^3 / 6 * 10^{-8}$ | = | 1188 kNm ² |
|-----------------|---------------------------------------|---|-----------------------|



Steg des Stahlquerschnitts

$$H_t = \text{TAB}(\text{"EC4_de/G.2"}; H_t; R=R) = 1100 \text{ mm}$$
$$h_{w,fi} = 0,5 * (h - 2 * e_f) * \left(1 - \sqrt{1 - 0,16 * \frac{H_t}{h}}\right) * 10^{-1} = 4,64 \text{ cm}$$

maximales Spannungsniveau im Steg:

$$f_{ay,w,t} = f_{ay} * \sqrt{1 - 0,16 * \frac{H_t}{h}} = 25,03 \text{ kN/cm}^2$$

Bemessungswert der plastischen Grenznormalkraft:

$$N_{fi,pl,Rd,w} = e_w * (h - 2 * e_f - 2 * h_{w,fi} * 10) * f_{ay,w,t} / 1,0 * 10^{-2} = 556 \text{ kN}$$

Biegesteifigkeit des Steges des Stahlquerschnitts:

$$EI_{fi,w,z} = E_a * (h - 2 * e_f - 2 * h_{w,fi} * 10) * e_w^3 / 12 * 10^{-8} = 3,89 \text{ kNm}^2$$

Kammerbeton

Breitenreduzierung der Betonfläche

$$b_{c,fi} = \text{WENN}(R=\text{"R30"}; 4; \text{WENN}(R=\text{"R60"}; 15; \text{WENN}(R=\text{"R90"}; b_{g0}; b_{120}))) = 28,7 \text{ mm}$$

Durchschnittliche Temperatur im Normalbeton nach DIN EN 1994-1-2:2010-12, Tab. G.4:

$$\Phi_{c,t} = \text{TAB}(\text{"EC4_de/G.4"}; \Phi_{c,t}; R=R; A_m V=A_m V) = 391 \text{ }^\circ\text{C}$$

Reduktionsfaktoren für Spannungs-Dehnungsbeziehung

$$k_{c,\Phi} = \text{TAB}(\text{"EC4_de/kceps"}; k_{c,fi}; \Phi_{c,t}) = 0,759$$
$$\varepsilon_{cu,\Phi} = \text{TAB}(\text{"EC4_de/kceps"}; \varepsilon_{cu,fi}; \Phi_{c,t}) / 10^3 = 9,73 * 10^{-3}$$

Druckfestigkeit und Sekantenmodul des Betons:

$$f_{c,\Phi} = f_{ck} * 10^{-1} * k_{c,\Phi} = 3,79 \text{ kN/cm}^2$$
$$E_{c,sec,\Phi} = f_{c,\Phi} / \varepsilon_{cu,\Phi} = 390 \text{ kN/cm}^2$$

Bemessungswert der plastischen Grenznormalkraft:

$$N_{fi,pl,Rd,c} = 0,86 * ((h - 2 * e_f - 2 * b_{c,fi}) * (b - e_w - 2 * b_{c,fi}) * 10^{-2} - A_s) * f_{c,\Phi} / 1,0 = 1833 \text{ kN}$$

Biegesteifigkeit des Beton:

$$I_{s,z} = n * \frac{\pi}{4} * d_s^2 * \left(\frac{b}{2} - u_2\right)^2 * 10^{-4} = 4073 \text{ cm}^4$$
$$EI_{fi,c,z} = E_{c,sec,\Phi} * ((h - 2 * e_f - 2 * b_{c,fi}) * ((b - 2 * b_{c,fi})^3 - e_w) / 12 * 10^{-4} - I_{s,z}) * 10^{-4} = 1037 \text{ kNm}^2$$



Bewehrungsstäbe

geometrische Mittel der Achsabstände

$$u = \sqrt{(u_1 * u_2)} = 45 \text{ mm}$$

$$u_a = \sqrt{(u_2 * (u_2 + 10))} = 50 \text{ mm}$$

$$u_b = \sqrt{(u_1 * (u_1 + 10))} = 50 \text{ mm}$$

$$u_{res} = \text{WENN}((u_1 - u_2) > 10; u_b; \text{WENN}((u_2 - u_1) > 10; u_a; u)) = 45 \text{ mm}$$

Reduktionsfaktoren für Streckgrenze und E-Modul der Bewehrung:

$$k_{y,t} = \text{TAB}(\text{"EC4_de/G5G6"; } k_{y,t}; R=R; u=u_{res}) = 0,434$$

$$k_{E,t} = \text{TAB}(\text{"EC4_de/G5G6"; } k_{E,t}; R=R; u=u_{res}) = 0,283$$

Streckgrenze und E-Modul der Bewehrungsstäbe:

$$f_{s,\Phi} = f_{sy} * k_{y,t} = 21,7 \text{ kN/cm}^2$$

$$E_{s,\Phi} = E_s * k_{E,t} = 5660 \text{ kN/cm}^2$$

Bemessungswert der plastischen Normalkraft:

$$N_{fi,pl,Rd,s} = A_s * f_{s,\Phi} / 1,0 = 801 \text{ kN}$$

Biegesteifigkeit der Bewehrungsstäbe:

$$EI_{fi,s,z} = E_{s,\Phi} * I_{s,z} * 10^{-4} = 2305 \text{ kNm}^2$$

Verbundquerschnitt

Bemessungswert der plastischen Grenznormalkraft:

$$N_{fi,pl,Rd} = N_{fi,pl,Rd,f} + N_{fi,pl,Rd,w} + N_{fi,pl,Rd,c} + N_{fi,pl,Rd,s} = 3448 \text{ kN}$$

Biegesteifigkeit des Verbundquerschnitts:



Bezogener Schlankheitsgrad (mit $\gamma_{M,fi} = 1,0$):

$$\bar{\lambda}_{\Phi} = \sqrt{\frac{N_{fi,pl,Rd}}{N_{fi,cr,z}}} = 0,698$$

Knickspannungslinie c:

$$\alpha = 0,49$$

$$\Phi = 0,5 * (1 + \alpha * (\bar{\lambda}_{\Phi} - 0,2) + \bar{\lambda}_{\Phi}^2) = 0,866$$

$$\chi_z = \text{MIN}(1 / (\Phi + \sqrt{(\Phi^2 - \bar{\lambda}_{\Phi}^2)}); 1,0) = 0,725$$

Bemessungswert der Grenznormalkraft:

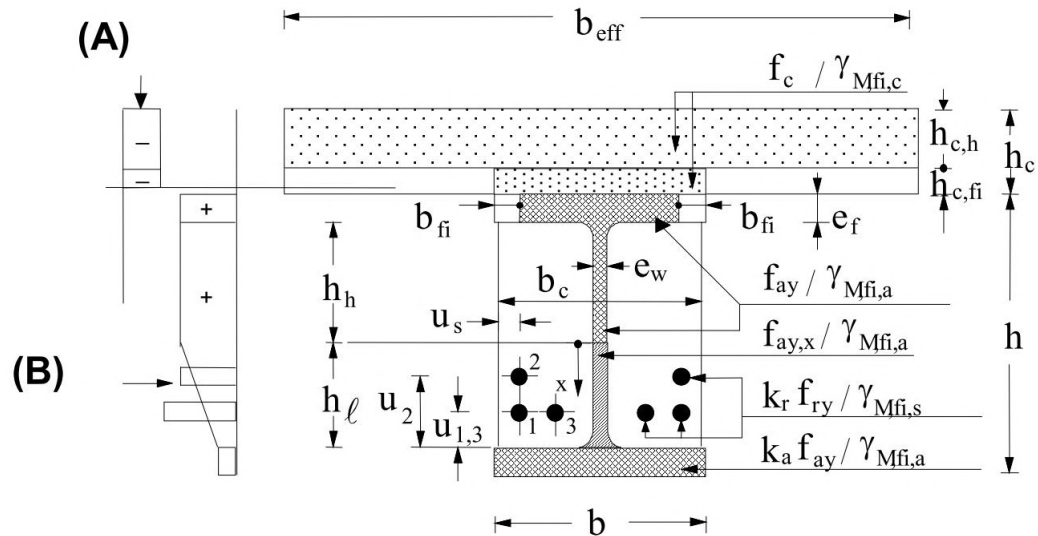
$$N_{fi,Rd,z} = \chi_z * N_{fi,pl,Rd} = 2500 \text{ kN}$$

Nachweis:

$$\frac{N_{fi,d,t}}{N_{fi,Rd,z}} = \underline{\underline{1,02 \leq 1}}$$

Feuerwiderstand kammerbetonierter Verbundträger

vereinfachtes Verfahren nach DIN EN 1994-1-2, Anhang F; positive Momententragfähigkeit;
Brandbeanspruchung nach ETK, alle Werte $\gamma_{M,fi} = 1,0$



Vorgaben

| | | |
|--------------------------------------|--------------------------------|--------------|
| Geometrie | | |
| Stützweite L = | | 12,00 m |
| Trägerabstand (b_{eff}) B = | | 3,00 m |
| Ortbeton h_c = | | 160 mm |
| Filigranplatte h_p = | | 0 mm |
| Gesamtstärke Decke $h_1 = h_c + h_p$ | = | 160 mm |
| Querschnitt und Bewehrung: | | |
| gew. d_s = | GEW("ec4_de/As"; ds ;) | = 25 mm |
| Stabanzahl n = | GEW("ec4_de/As"; n;n=2) | = 2,0 |
| Achsabstand Bew. u_1 = | | 100 mm |
| Achsabstand Bew. u_{s1} = | | 55 mm |
| Stahlprofil: | | |
| Typ1 = | GEW("ec4_de/Profile"; ID;) | = IPE |
| Profil ID1 = | GEW("ec4_de/Typ1; ID;) | = IPE 450 |
| Stahl = | GEW("ec4_de/mat"; ID;) | = S 355 |
| Beton | | |
| Beton = | GEW("ec4_de/beton_ec2"; Bez;) | = C25/30 |
| geforderte Feuerwiderstandsklasse | | |
| R = | GEW("ec4_de/Rverb44"; Bez;) | = R90 |

Einwirkungen

| | |
|--|------------------------|
| ständige Einwirkungen/ Ausbaulast | |
| Ausbaulasten g_a = | 2,00 kN/m ² |
| veränderliche Einwirkungen | |
| Nutzlast q_k = | 5,00 kN/m ² |
| Bemessungswert der maßgebenden Einwirkungskombination: | |
| Teilsicherheitsbeiwerte | |
| γ_G = | 1,35 |
| γ_Q = | 1,50 |



Vereinfachtes Nachweisverfahren

Querschnittswerte

Stahlprofil:

| | | | |
|-----------------|---|-----|-------------------------|
| $f_{yk} =$ | $TAB("ec4_de/mat"; f_{yk}; ID=Stahl)/10$ | $=$ | 35,5 kN/cm ² |
| Höhe $h =$ | $TAB("ec4_de/"Typ1; h; ID=ID1)$ | $=$ | 450,0 mm |
| Breite $b =$ | $TAB("ec4_de/"Typ1; b; ID=ID1)$ | $=$ | 190,0 mm |
| Steg $e_w =$ | $TAB("ec4_de/"Typ1; tw; ID=ID1)$ | $=$ | 9,4 mm |
| Flansch $e_f =$ | $TAB("ec4_de/"Typ1; tf; ID=ID1)$ | $=$ | 14,6 mm |
| Radius $r =$ | $TAB("ec4_de/"Typ1; r; ID=ID1)$ | $=$ | 21,0 mm |
| $A_a =$ | $TAB("ec4_de/"Typ1; A; ID=ID1)$ | $=$ | 98,8 cm ² |

Betonstahl

| | | | |
|------------|---------------------------------|-----|-----------------------|
| $f_{sy} =$ | | $=$ | 50 kN/cm ² |
| $A_s =$ | $n * \pi * d_s^2 / 4 * 10^{-2}$ | $=$ | 9,82 cm ² |

Betonquerschnitt:

| | | | |
|------------|--|-----|-------------------------|
| $f_{ck} =$ | $TAB("ec4_de/beton_ec2"; f_{ck}; Bez=Beton)$ | $=$ | 25,00 N/mm ² |
| $A_c =$ | $b * h * 10^{-2} - A_a - A_s$ | $=$ | 746 cm ² |
| $b_c =$ | b | $=$ | 190 mm |

Stahl

| | | | |
|------------|---|-----|-------------------------|
| $f_{ay} =$ | $TAB("ec4_de/mat"; f_{yk}; ID=Stahl)/10$ | $=$ | 35,5 kN/cm ² |
|------------|---|-----|-------------------------|

Einwirkungen

ständige Lasten

| | | | |
|-------------------------|----------------------------------|-----|------------|
| Betonplatte $g_{k1} =$ | $B * h_1 * 25 * 10^{-3}$ | $=$ | 12,00 kN/m |
| Stahlträger $g_{k2} =$ | $TAB("ec4_de/"Typ1; g; ID=ID1)$ | $=$ | 0,78 kN/m |
| Kammerbeton $g_{k3} =$ | $A_c * 25 * 10^{-4}$ | $=$ | 1,87 kN/m |
| Ausbaulasten $g_{k4} =$ | $g_a * B$ | $=$ | 6,00 kN/m |

$$\text{Eigengewicht } g_k = g_{k1} + g_{k2} + g_{k3} + g_{k4} = \mathbf{20,65 \text{ kN/m}}$$

veränderliche Einwirkungen

$$\text{Verkehrslast } q_k = q_k * B = \mathbf{15,00 \text{ kN/m}}$$

Ausnutzungsgrad

Teilsicherheitsbeiwerte

| | | | |
|----------------|--|-----|------|
| $\gamma_G =$ | | $=$ | 1,35 |
| $\gamma_Q =$ | | $=$ | 1,50 |
| $\psi_{1,1} =$ | | $=$ | 0,50 |

$$\eta_{fi} = \frac{g_k + \psi_{1,1} * q_k}{\gamma_G * g_k + \gamma_Q * q_k} = \mathbf{0,559}$$

Bemessungswert der maßgebenden Einwirkungskombination

| | | | |
|------------|-----------------------------------|-----|------------------|
| $e_d =$ | $\gamma_G * g_k + \gamma_Q * q_k$ | $=$ | 50,4 kN/m |
| $M_{Ed} =$ | $e_d * L^2 / 8$ | $=$ | 907,2 kNm |

Bemessungswert der Einwirkung im Brandfall

$$M_{fi,d,t} = \eta_{fi} * M_{Ed} = 507,1 \text{ kNm}$$



Überprüfung der Anwendungsgrenzen

| | | | | |
|---------------------|---|---------------------------|---|-----------------------|
| $h_{c,min}$ | = | TAB("EC4_de/F.8";hc;R=R) | = | 100 mm |
| $h_{c,min}/h_c$ | = | | = | <u>0,63 ≤ 1</u> |
| h_{min} | = | TAB("EC4_de/F.8";h;R=R) | = | 170 mm |
| h_{min}/h | = | | = | <u>0,38 ≤ 1</u> |
| $b_{c,min}$ | = | TAB("EC4_de/F.8";bc;R=R) | = | 170 mm |
| $b_{c,min}/b$ | = | | = | <u>0,89 ≤ 1</u> |
| A_{min} | = | TAB("EC4_de/F.8";hbc;R=R) | = | 35000 mm ² |
| $A_{min}/(b_c * h)$ | = | | = | <u>0,41 ≤ 1</u> |
| $e_f/(h/8)$ | = | | = | <u>0,26 ≤ 1</u> |

Berechnung der reduzierten Abstände und Reduktionsfaktoren

Betongurt:

Dickenreduzierung der Betondecke

| | | | | |
|----------------|---|--|---|----------|
| $h_{1,c,fi}$ | = | TAB("EC4_de/F.2";hc,fi;R=R) | = | 30 mm |
| $h_{2,c,fi}$ | = | h_p | = | 0 mm |
| $h_{c,fi}$ | = | WENN($h_{1,c,fi} ≥ h_p$; $h_{1,c,fi}$; $h_{2,c,fi}$) | = | 30 mm |
| Oberer Flansch | | | | |
| var | = | TAB("EC4_de/F.2";bfi;R=R) | = | 30 mm |
| b_{fi} | = | $\frac{e_f}{2} + var + \frac{b - b_c}{2}$ | = | 37,3 mm |
| b_{red} | = | $b - 2 * b_{fi}$ | = | 115,4 mm |

Unterteilung des Steges

Werte nach DIN EN 1994-1-2:2010-12(5), Tabelle F.3:



Bewehrung

Reduktionsfaktor k_r für die Steckgrenze nach DIN EN 1994-1-2:2010-12, F.1(9), Tabelle F.5:

| | | | | |
|----------|---|--|---|-----------------------|
| A_m | = | $2 * h + b_c$ | = | 1090 mm |
| V | = | $h * b_c$ | = | 85500 mm ² |
| u | = | $\frac{1}{\frac{1}{u_1} + \frac{1}{u_{s1}} + \frac{1}{b_c - e_w - u_{s1}}}$ | = | 27,67 mm |
| a_3 | = | TAB("EC4_de/F.5";a3;R=R) | = | 0,026 |
| a_4 | = | TAB("EC4_de/F.5";a4;R=R) | = | -0,154 |
| a_5 | = | TAB("EC4_de/F.5";a5;R=R) | = | 0,090 |
| k_{r1} | = | MAX(0,1;MIN(1;(u*a ₃ + a ₄)* a ₅ / √(Am/V))) | = | 0,451 |



Berechnung der plastischen Biegemomententragfähigkeit

1) Oberer Flansch:

$$F_1 = b_{\text{red}} \cdot e_f \cdot f_{\text{ay}} \cdot 10^{-2} = 598,1 \text{ kN}$$

$$z_1 = (h_c + e_f / 2) \cdot 10^{-3} = 0,167 \text{ m}$$

$$M_1 = F_1 \cdot z_1 = 99,9 \text{ kNm}$$

2) Walzausrundung oben:

$$F_2 = (4 - \pi) \cdot r^2 / 2 \cdot f_{\text{ay}} \cdot 10^{-2} = 67,2 \text{ kN}$$

$$z_2 = \left(h_c + e_f + \left(1 - \frac{2}{3 \cdot (4 - \pi)} \right) \cdot r \right) \cdot 10^{-3} = 0,179 \text{ m}$$

$$M_2 = F_2 \cdot z_2 = 12,0 \text{ kNm}$$

3) Oberer Steg:

$$F_3 = e_w \cdot h_h \cdot f_{\text{ay}} \cdot 10^{-2} = 1130,8 \text{ kN}$$

$$z_3 = (h_c + e_f + h_h / 2) \cdot 10^{-3} = 0,344 \text{ m}$$

$$M_3 = F_3 \cdot z_3 = 389,0 \text{ kNm}$$

4) Unterer Steg:

$$F_4 = e_w \cdot h_l \cdot f_{\text{ay}} \cdot (1 + k_a) / 2 \cdot 10^{-2} = 148,9 \text{ kN}$$

$$z_4 = \left(h_c + h - e_f - h_l \cdot \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{1 + k_a \cdot 0,5}{1 + k_a} \right) \right) \cdot 10^{-3} = 0,543 \text{ m}$$

$$M_4 = F_4 \cdot z_4 = 80,9 \text{ kNm}$$

5) Walzausrundung:

$$F_5 = (4 - \pi) \cdot \frac{r^2}{2} \cdot k_a \cdot f_{\text{ay}} \cdot 10^{-2} = 6,0 \text{ kN}$$

$$z_5 = \left((h_c + h - e_f) - \left(1 - \frac{2}{3 \cdot (4 - \pi)} \right) \cdot r \right) \cdot 10^{-3} = 0,591 \text{ m}$$

$$M_5 = F_5 \cdot z_5 = 3,5 \text{ kNm}$$

6) Unterer Flansch:

$$F_6 = b \cdot e_f \cdot k_a \cdot f_{\text{ay}} \cdot 10^{-2} = 87,6 \text{ kN}$$

$$z_6 = (h_c + h - e_f / 2) \cdot 10^{-3} = 0,603 \text{ m}$$

$$M_6 = F_6 \cdot z_6 = 52,8 \text{ kNm}$$

7) Bewehrung:

$$F_7 = A_s \cdot k_{r1} \cdot f_{\text{sy}} = 221,4 \text{ kN}$$

$$z_7 = (h_c + h - e_f \cdot u_1) \cdot 10^{-3} = 0,495 \text{ m}$$

$$M_7 = F_7 \cdot z_7 = 109,6 \text{ kNm}$$

8) Verbunddecke:

$$F_8 = \sum_{i=1}^7 F_i \cdot (-1) = -2260,0 \text{ kN}$$

$$z_{\text{pl}} = \frac{\text{ABS}(F_8)}{B \cdot f_{\text{ck}}} \cdot 10^{-3} = 0,030 \text{ m}$$

$$M_8 = F_8 \cdot z_{\text{pl}} / 2 = -33,9 \text{ kNm}$$

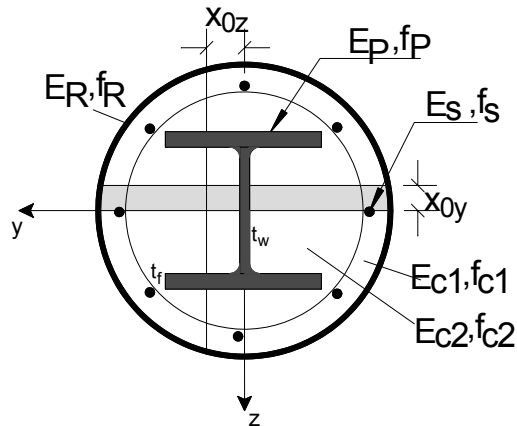
Nachweis

$$M_{\text{fi,Rd,t}} = \sum_{i=1}^8 M_i = 714 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{fi,d,t}} / M_{\text{fi,Rd,t}} = \underline{\underline{0,71 \leq 1}}$$

Feuerwiderstand - Rohr mit Einstellprofil

Vereinfachtes Verfahren nach Minnert/ Wagenknecht; gilt nur, wenn die zentrische Traglast um die z-z-Achse maßgebend wird; Bewehrung wird hier nicht berücksichtigt; Knicklängenbeiwert ist vorzugeben



Vorgaben

| | | |
|--|------------------------|--------------------|
| Geometrie | | |
| Stützweite $L =$ | | 4,50 m |
| Knicklängenbeiwert $\beta_{\Phi} =$ | | 0,731 |
| Achsabstand Bew. $u =$ | | 37,5 mm |
| \Rightarrow Knicklänge im Brandfall: | | |
| $L_{\Phi} =$ | $L \cdot \beta_{\Phi}$ | $= 3,29 \text{ m}$ |

Einwirkungen

| | | |
|--|-----------------------------|----------------|
| Bemessungswert der maßgebenden Einwirkungskombination im Brandfall | | |
| $N_{fi,Ed} =$ | | 2600 kN |
| $M_{fi,y,Ed} =$ | | 20,00 kNm |
| $M_{fi,z,Ed} =$ | | 0,00 kNm |
| geforderte Feuerwiderstandsklasse | | |
| $R =$ | GEW("ec4_de/Rverb44"; Bez;) | $= \text{R90}$ |

Querschnitt und Baustoffe

| | | |
|-------------------|--------------------------------|-------------|
| Bewehrung: keine! | | |
| Stahlrohr: | | |
| Rohr = | GEW("ec4_de/R"; ID;) | ⌀ 406.4x8.8 |
| StahlR = | GEW("ec4_de/mat"; ID;) | = S 235 |
| Einstellprofil: | | |
| Typ1 = | GEW("ec4_de/Profile"; ID;) | = HEB |
| Profil ID1 = | GEW("ec4_de/"Typ1; ID;) | ≠ HEB 200 |
| Stahl = | GEW("ec4_de/mat"; ID;) | = S 355 |
| Beton | | |
| Beton = | GEW("ec4_de/beton_ec2"; Bez;) | = C40/50 |



Querschnittswerte, Baustoffkennwerte

Im Brandfall gilt: $\gamma_{M,fi,a} = 1,0$; $\gamma_{M,fi,s} = 1,0$; $\gamma_{M,fi,c} = 1,0$

Stahlrohr:

| | | | |
|------------|--|---|--------------------------|
| d_a | TAB("ec4_de/R"; d; ID=Rohr) | = | 406,4 mm |
| t_R | TAB("ec4_de/R"; t; ID=Rohr) | = | 8,80 mm |
| d_i | $d_a - 2 \cdot t_R$ | = | 388,8 mm |
| A_R | TAB("ec4_de/R"; A; ID=Rohr) | = | 110,00 cm ² |
| f_{Ry} | TAB("ec4_de/mat"; f_{yk} ; ID=StahlR)/10 | = | 23,5 kN/cm ² |
| f_{Rd} | $f_{Ry} / 1,0$ | = | 23,5 kN/cm ² |
| I_R | TAB("ec4_de/R"; I; ID=Rohr) | = | 21730 cm ⁴ |
| $W_{pl,R}$ | $1/6 \cdot (d_a^3 - d_i^3) \cdot 10^{-3}$ | = | 1391 cm ³ |
| E_R | TAB("ec4_de/mat"; E; ID=StahlR)/10 | = | 21000 kN/cm ² |

Stahlprofil:

| | | | |
|---------------|---|---|--------------------------|
| Höhe h | TAB("ec4_de/"Typ1; h; ID=ID1)/10 | = | 20,0 cm |
| Breite b | TAB("ec4_de/"Typ1; b; ID=ID1)/10 | = | 20,0 cm |
| Steg t_w | TAB("ec4_de/"Typ1; t_w ; ID=ID1)/10 | = | 0,9 cm |
| Flansch t_f | TAB("ec4_de/"Typ1; t_f ; ID=ID1)/10 | = | 1,5 cm |
| f_{Py} | TAB("ec4_de/mat"; f_{yk} ; ID=Stahl)/10 | = | 35,5 kN/cm ² |
| f_{Pd} | $f_{Py} / 1,0$ | = | 35,5 kN/cm ² |
| A_p | TAB("ec4_de/"Typ1; A; ID=ID1) | = | 78,1 cm ² |
| E_p | TAB("ec4_de/mat"; E; ID=Stahl)/10 | = | 21000 kN/cm ² |

starke Achse:

| | | | |
|-------------|--|---|----------------------|
| $I_{p,y}$ | TAB("ec4_de/"Typ1; I_y ; ID=ID1) | = | 5700 cm ⁴ |
| $W_{pl,Py}$ | TAB("ec4_de/"Typ1; W_{ply} ; ID=ID1) | = | 642 cm ³ |

schwache Achse:

| | | | |
|-------------|--|---|----------------------|
| $I_{p,z}$ | TAB("ec4_de/"Typ1; I_z ; ID=ID1) | = | 2000 cm ⁴ |
| $W_{pl,Pz}$ | TAB("ec4_de/"Typ1; W_{plz} ; ID=ID1) | = | 306 cm ³ |

Beton:

| | | | |
|------------|---|---|-------------------------|
| f_{ck} | TAB("ec4_de/beton_ec2"; f_{ck} ; Bez=Beton) | = | 40,0 N/mm ² |
| $E_{c,20}$ | $600 \cdot f_{ck} \cdot 10^{-1}$ | = | 2400 kN/cm ² |
| f_{cd} | $f_{ck} / 1,0 \cdot 10^{-1}$ | = | 4,00 kN/cm ² |

Überprüfung der Anwendungsgrenzen des Verfahrens

Es wird ein ausgesteiftes Tragwerk vorausgesetzt!

| | | | |
|--------------------|-------------------------------------|---|----------------------|
| U | $d_a \cdot \pi \cdot 10^{-3}$ | = | 1,277 m |
| A | $d_a^2 / 4 \cdot \pi \cdot 10^{-6}$ | = | 0,130 m ² |
| $5 / (U/A)$ | | = | <u>0,51 ≤ 1</u> |
| $(U/A) / 15$ | | = | <u>0,65 ≤ 1</u> |
| $25 / (d_a / t_R)$ | | = | <u>0,54 ≤ 1</u> |



Flächen und Trägheitsmomente der einzelnen Querschnittsbereiche

Für die Überlagerung der Flächen gilt: Bewehrung liegt in Betonfläche 1
Einstellprofil liegt in der Betonfläche 2

$$d_c = d_a - 2 \cdot (t_R + 40) = 308,8 \text{ mm}$$

Betonfläche 1

$$A_{c1} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_i^2 - d_c^2) \cdot 10^{-2} = 438,31 \text{ cm}^2$$

$$I_{c1} = \frac{\pi}{64} \cdot (d_i^4 - d_c^4) \cdot 10^{-4} = 67534 \text{ cm}^4$$

$$W_{pl,c1} = \frac{1}{6} \cdot (d_i^3 - d_c^3) \cdot 10^{-3} = 4888 \text{ cm}^3$$

Betonfläche 2

$$A_{c2} = \pi / 4 \cdot d_c^2 \cdot 10^{-2} - A_P = 670,83 \text{ cm}^2$$

$$A_c = A_{c1} + A_{c2} = 1109 \text{ cm}^2$$

starke Achse:

$$I_{c2,y} = \frac{2 \cdot \pi}{3 \cdot 64} \cdot d_c^4 \cdot 10^{-4} - I_{P,y} = 24057 \text{ cm}^4$$

$$W_{pl,c2y} = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{6} \cdot d_c^3 \cdot 10^{-3} - W_{pl,Py} = 2630 \text{ cm}^3$$

schwache Achse:

$$I_{c2,z} = \frac{2 \cdot \pi}{3 \cdot 64} \cdot d_c^4 \cdot 10^{-4} - I_{P,z} = 27757 \text{ cm}^4$$

$$W_{pl,c2z} = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{6} \cdot d_c^3 \cdot 10^{-3} - W_{pl,Pz} = 2966 \text{ cm}^3$$

Vollplastische Normalkraft - Bemessungswert der vollpl. Normalkraft

$$f_{R,\Phi} = f_{Rd} \cdot k_{Rf} = 1,316 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{P,\Phi} = f_{Pd} \cdot k_{Pf} = 35,500 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{c1,\Phi} = f_{cd} \cdot k_{c1f} = 1,416 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{c2,\Phi} = f_{cd} \cdot k_{c2f} = 3,640 \text{ kN/cm}^2$$

$$N_{fi,pl,Rd,R} = f_{R,\Phi} \cdot A_R = 144,76 \text{ kN}$$

$$N_{fi,pl,Rd,P} = f_{P,\Phi} \cdot A_P = 2772,55 \text{ kN}$$

$$N_{fi,pl,Rd,c1} = f_{c1,\Phi} \cdot A_{c1} = 620,65 \text{ kN}$$

$$N_{fi,pl,Rd,c2} = f_{c2,\Phi} \cdot A_{c2} = 2441,82 \text{ kN}$$

$$N_{fi,pl,Rd,c} = N_{fi,pl,Rd,c1} + N_{fi,pl,Rd,c2} = 3062,47 \text{ kN}$$

$$N_{fi,pl,Rd} = N_{fi,pl,Rd,R} + N_{fi,pl,Rd,P} + N_{fi,pl,Rd,c} = 5979,78 \text{ kN}$$

wirksame Biegesteifigkeit um die starke Achse

$$EI_{R,\Phi} = E_R \cdot I_R \cdot k_{RE} \cdot 10^{-4} = 2738 \text{ kNm}^2$$

$$EI_{P,y,\Phi} = E_P \cdot I_{P,y} \cdot k_{PE} \cdot 10^{-4} = 10390 \text{ kNm}^2$$

$$EI_{c1,\Phi} = E_{c,20} \cdot I_{c1} \cdot k_{c1E} \cdot 10^{-4} = 567 \text{ kNm}^2$$

$$EI_{c2y,\Phi} = E_{c,20} \cdot I_{c2,y} \cdot k_{c2E} \cdot 10^{-4} = 2217 \text{ kNm}^2$$

$$EI_{fiy,eff} = EI_{R,\Phi} + EI_{P,y,\Phi} + EI_{c1,\Phi} + EI_{c2y,\Phi} = 15912 \text{ kNm}^2$$

Wirksame Biegesteifigkeit für die Normaltemperatur:

$$EI_{y,eff} = (E_R \cdot I_R + E_P \cdot I_{P,y} + E_{c,20} \cdot I_{c1} + 3/2 \cdot E_{c,20} \cdot I_{c2,y}) \cdot 10^{-4} = 82472 \text{ kNm}^2$$



wirksame Biegesteifigkeit um die schwache Achse

$$EI_{Pz,\Phi} = E_P \cdot I_{P,z} \cdot k_{PE} \cdot 10^{-4} = 3646 \text{ kNm}^2$$

$$EI_{c2z,\Phi} = E_{c,20} \cdot I_{c2,z} \cdot k_{c2E} \cdot 10^{-4} = 2558 \text{ kNm}^2$$

$$EI_{fiz,eff} = EI_{R,\Phi} + EI_{Pz,\Phi} + EI_{c1,\Phi} + EI_{c2z,\Phi} = 9509 \text{ kNm}^2$$

Wirksame Biegesteifigkeit für die Normaltemperatur:

$$EI_{z,eff} = (E_R \cdot I_R + E_P \cdot I_{P,z} + E_{c,20} \cdot I_{c1} + 3/2 \cdot E_{c,20} \cdot I_{c2,z}) \cdot 10^{-4} = 76034 \text{ kNm}^2$$

M-N-Interaktion um die schwache Achse



Berechnung der Nulllinie für das plastische Moment - Nulllinie im Flansch:

$$Z1 = 0,5 \cdot A_{c1} \cdot f_{c1,\Phi} + 0,5 \cdot A_{c2} \cdot f_{c2,\Phi} = 1531,23 \text{ kN}$$

$$Z2 = -t_w \cdot (h - 2 \cdot t_f) \cdot f_{P,\Phi} + 0,5 \cdot t_w \cdot (h - 2 \cdot t_f) \cdot f_{c2,\Phi} = -515,30 \text{ kN}$$

$$N1 = 4 \cdot t_R \cdot 10^{-1} \cdot f_{R,\Phi} + 4 \cdot t_f \cdot f_{P,\Phi} = 217,63 \text{ kNcm}$$

$$N2 = (d_i - d_c) \cdot 10^{-1} \cdot f_{c1,\Phi} + (d_c \cdot 10^{-1} - 2 \cdot t_f) \cdot f_{c2,\Phi} = 112,81 \text{ kNcm}$$

$$x_{0z} = \frac{Z1 + Z2}{N1 + N2} = 3,07 \text{ cm}$$

$$W_{R,0z} = 2 \cdot t_R \cdot x_{0z}^2 \cdot 10^{-1} = 16,59 \text{ cm}^3$$

$$W_{P,0z} = 0,25 \cdot (h - 2 \cdot t_f) \cdot t_w^2 + 2 \cdot t_f \cdot x_{0z}^2 = 31,72 \text{ cm}^3$$

$$W_{c1,0z} = (d_i - d_c) \cdot 10^{-1} \cdot x_{0z}^2 = 75,40 \text{ cm}^3$$

$$W_{c2,0z} = d_c \cdot 10^{-1} \cdot x_{0z}^2 - W_{P,0z} = 259,32 \text{ cm}^3$$

$$M_{0z} = (W_{R,0z} \cdot f_{R,\Phi} + W_{P,0z} \cdot f_{P,\Phi} + 0,5 \cdot W_{c1,0z} \cdot f_{c1,\Phi} + 0,5 \cdot W_{c2,0z} \cdot f_{c2,\Phi}) \cdot 10^{-2} = 16,73 \text{ kNm}$$

Vollplastisches Moment:

$$M_{pl,z} = M_{pl,max,z} - M_{0z} = 198,80 \text{ kNm}$$

Reduziertes vollplastisches Moment:

$$M_{z,N,Rd1} = M_{pl,z} \cdot \left(1 - \frac{N_{fi,Ed} - N_{fi,pl,Rd,c}}{N_{fi,pl,Rd} - N_{fi,pl,Rd,c}} \right) = 230,32 \text{ kNm}$$

$$M_{z,N,Rd2} = M_{pl,z} + 4 \cdot \frac{M_{0z}}{N_{fi,pl,Rd,c}} \cdot N_{fi,Ed} - 4 \cdot \frac{M_{0z}}{N_{fi,pl,Rd,c}} \cdot N_{fi,Ed}^2 = 207,38 \text{ kNm}$$

$$M_{z,N,Rd} = \text{WENN}(N_{fi,Ed} \geq N_{fi,pl,Rd,c}; M_{z,N,Rd1}; M_{z,N,Rd2}) = 207,38 \text{ kNm}$$

M-N-Interaktion um die starke Achse

$$M_{pl,Py} = W_{pl,Py} \cdot f_{P,\Phi} \cdot 10^{-2} = 227,91 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,c2y} = 0,5 \cdot W_{pl,c2y} \cdot f_{c2,\Phi} \cdot 10^{-2} = 47,87 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,ay} = M_{pl,R} + M_{pl,Py} = 246,22 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,cy} = M_{pl,c1} + M_{pl,c2y} = 82,48 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,max,y} = M_{pl,ay} + M_{pl,cy} = 328,70 \text{ kNm}$$



Berechnung der Nulllinie für das plastische Moment - Nulllinie im Steg:

$$\begin{aligned}
 Z &= 0,5 \cdot A_{c1} \cdot f_{c1,\Phi} + 0,5 \cdot A_{c2} \cdot f_{c2,\Phi} &= 1531,23 \text{ kNm} \\
 N1 &= 4 \cdot t_R \cdot 10^{-1} \cdot f_{R,\Phi} + 2 \cdot t_w \cdot f_{P,\Phi} &= 68,53 \text{ kNcm} \\
 N2 &= \frac{(d_i - d_c) \cdot 10^{-1} \cdot f_{c1,\Phi} + (d_c \cdot 10^{-1} - t_w) \cdot f_{c2,\Phi}}{Z} &= 120,46 \text{ kNcm} \\
 x_{0y} &= \frac{Z}{N1 + N2} &= 8,10 \text{ cm}
 \end{aligned}$$



Software zur Dokumentation und Berechnung

cmaster

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

Reduziertes vollplastisches Moment:

$$\begin{aligned}
 M_{y,N,Rd1} &= M_{pl,y} \cdot \left(1 - \frac{N_{fi,Ed} - N_{fi,pl,Rd,c}}{N_{fi,pl,Rd} - N_{fi,pl,Rd,c}} \right) &= 308,98 \text{ kNm} \\
 M_{y,N,Rd2} &= M_{pl,y} + 4 \cdot \frac{M_{0y}}{N_{fi,pl,Rd,c}} \cdot N_{fi,Ed} - 4 \cdot \frac{M_{0y}}{N_{fi,pl,Rd,c}} \cdot N_{fi,Ed}^2 &= 298,50 \text{ kNm} \\
 M_{y,N,Rd} &= \text{WENN}(N_{fi,Ed} \geq N_{fi,pl,Rd,c}; M_{y,N,Rd1}; M_{y,N,Rd2}) &= 298,50 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Berechnung der zentrischen Traglast

Die Achse mit der kleineren zentrischen Traglast ist hier die z-z-Achse.

Länge der Stütze:

$$L = L = 4,50 \text{ m}$$

Knicklängenbeiwert im Brandfall:

$$\beta_\Phi = \beta_\Phi = 0,731$$

⇒ Knicklänge im Brandfall:

$$L_\Phi = L \cdot \beta_\Phi = 3,29 \text{ m}$$

Ideale Knicklast:

$$N_{fi,cr} = \pi^2 \cdot \frac{E_{fz,eff}}{L_\Phi^2} = 8670 \text{ kN}$$

Knickspannungslinie b:

$$\bar{\lambda}_\Phi = \sqrt{\frac{N_{fi,pl,Rd}}{N_{fi,cr}}} = 0,830$$

$$k = 0,5 \cdot (1 + 0,56 \cdot \bar{\lambda}_\Phi + 1,8 \cdot \bar{\lambda}_\Phi^2) = 1,352$$

$$\kappa = 1 / (k + \sqrt{k^2 - 1,8 \cdot \bar{\lambda}_\Phi^2}) = 0,472$$

Zentrische Traglast:

$$N_{fi,Rd} = N_{fi,pl,Rd} \cdot \kappa = 2822,5 \text{ kN}$$

Nachweis unter zentrischem Druck

$$\frac{N_{fi,Ed}}{N_{fi,Rd}} = 0,92 \leq 1$$



Berechnung des Imperfektionsmomentes $M_{0,Ed}$

Die Achse mit der kleineren zentrischen Tragfähigkeit ist hier die z-z-Achse . Es ist deshalb das Imperfektionsmoment um die z-z-Achse anzusetzen.

$$M_{0,Rd1} = M_{pl,z} * \left(1 - \frac{N_{fi,Rd} - N_{fi,pl,Rd,c}}{N_{fi,pl,Rd} - N_{fi,pl,Rd,c}} \right) = 215,15 \text{ kNm}$$

$$M_{0,Rd2} = M_{pl,z} + 4 * \frac{M_{0z}}{N_{fi,pl,Rd,c}} * N_{fi,Rd} - 4 * \frac{M_{0z}}{N_{fi,pl,Rd,c}} * N_{fi,Rd}^2 = 203,63 \text{ kNm}$$

$$M_{0,Rd} = \text{WENN}(N_{fi,Rd} \geq N_{fi,pl,Rd,c}; M_{0,Rd1}; M_{0,Rd2}) = \mathbf{203,63 \text{ kNm}}$$

$$\alpha_M = 0,90$$

$$M_{0,Ed} = \frac{N_{fi,Ed}}{N_{fi,Rd}} * \alpha_M * M_{0,Rd} = 168,82 \text{ kNm}$$

Nachweis für Druck und Biegung

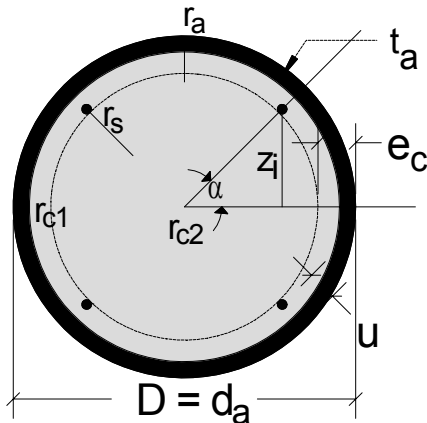
$$\left(\frac{M_{0,Ed}}{M_{z,N,Rd}} + \frac{M_{fi,z,Ed}}{M_{z,N,Rd}} \right) * \frac{1}{\alpha_M} = 0,90 \leq 1$$

$$\frac{M_{fi,y,Ed}}{M_{y,N,Rd}} * \frac{1}{\alpha_M} = 0,07 \leq 1$$

$$\frac{M_{0,Ed}}{M_{z,N,Rd}} + \frac{M_{fi,y,Ed}}{M_{y,N,Rd}} + \frac{M_{fi,z,Ed}}{M_{z,N,Rd}} = \mathbf{0,88 \leq 1}$$

Feuerwiderstand R30 für ein betongefülltes Hohlprofil

vereinfachtes Rechenverfahren auf Basis EC4-1-2 (vgl. El-Nesr O., Vereinfachtes Rechenverfahren zur brandschutztechnischen Bemessung von Verbundstützen aus betongefüllten runden Hohlprofilen; Bautechnik 71 (1994) Heft 11) Nachweisstufe 2



Vorgaben

| | |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| Geometrie | |
| Stützweite L = | 4,50 m |
| Knicklängenbeiwert β_Φ = | 0,767 |
| Achsabstand Bew. u = | 37,5 mm |
| ⇒ Knicklänge im Brandfall: | |
| L_Φ = | $L \cdot \beta_\Phi$ = 3,45 m |

Einwirkungen

| | |
|--|-----------|
| Bemessungswert der maßgebenden Einwirkungskombination im Brandfall | |
| $N_{fi,Ed}$ = | 2550 kN |
| $M_{fi,Ed}$ = | 112,5 kNm |

Querschnitt und Baustoffe

| | | | |
|----------------|--------------------------------|---|-----------|
| Bewehrung: | | | |
| gew. d_s = | GEW("ec4_de/As"; ds ;) | = | 25 mm |
| Stabanzahl n = | GEW("ec4_de/As"; n; n ≥ 4) | = | 16,0 |
| Stahlrohr: | | | |
| Rohr = | GEW("ec4_de/R"; ID;) | ≙ | 406.4x8.8 |
| Stahl = | GEW("ec4_de/mat"; ID;) | = | S 235 |
| Beton | | | |
| Beton = | GEW("ec4_de/beton_ec2"; Bez;) | = | C30/37 |

Querschnittswerte, Baustoffkennwerte

Im Brandfall gilt: $\gamma_{M,fi,a} = 1,0$; $\gamma_{M,fi,s} = 1,0$; $\gamma_{M,fi,c} = 1,0$

| | | | |
|--------------|---|---|--------------------------|
| Bewehrung: | | | |
| A_s = | $n \cdot \pi/4 \cdot d_s^2 \cdot 10^{-2}$ | = | 78,54 cm ² |
| E_s = | | | 20000 kN/cm ² |
| f_{sk} = | | | 50 kN/cm ² |
| f_{sd} = | $f_{sk} / 1,0$ | = | 50 kN/cm ² |
| I_s = | | | 9437 cm ⁴ |
| $W_{pl,s}$ = | | | 765 cm ³ |



Stahlrohr:

| | | | |
|------------|--|---|--------------------------|
| $d_a =$ | TAB("ec4_de/R"; d; ID=Rohr) | = | 406,4 mm |
| $t_a =$ | TAB("ec4_de/R"; t; ID=Rohr) | = | 8,80 mm |
| $d_i =$ | $d_a - 2 * t_a$ | = | 388,8 mm |
| $A_a =$ | TAB("ec4_de/R"; A; ID=Rohr) | = | 110,00 cm ² |
| $f_{ay} =$ | TAB("ec4_de/mat"; f _{yk} ; ID=Stahl)/10 | = | 23,5 kN/cm ² |
| $f_{ad} =$ | $f_{ay} / 1,0$ | = | 23,5 kN/cm ² |
| $I_a =$ | TAB("ec4_de/R"; I; ID=Rohr) | = | 21730 cm ⁴ |
| $E_a =$ | TAB("ec4_de/mat"; E; ID=Stahl)/10 | = | 21000 kN/cm ² |

Beton:

| | | | |
|------------|--|---|-------------------------|
| $f_{ck} =$ | TAB("ec4_de/beton_ec2"; f _{ck} ; Bez=Beton) | = | 30 N/mm ² |
| $E_{cm} =$ | TAB("ec4_de/beton_ec2"; E _{cm} ; Bez=Beton) | = | 33000 N/mm ² |
| $f_{cd} =$ | $f_{ck} / 1,0 * 10^{-1}$ | = | 3,00 kN/cm ² |

Überprüfung der Anwendungsgrenzen des Verfahrens

Es wird ein ausgesteiftes Tragwerk vorausgesetzt!



Flächen und Trägheitsmomente der einzelnen Querschnittsbereiche

| | | | |
|---------|-----------------|---|----------|
| Beton: | | | |
| $e_c =$ | $u + d_s / 2$ | = | 50,0 mm |
| $d_c =$ | $d_a - 2 * e_c$ | = | 306,4 mm |

Betonfläche 1

Für die Überlagerung der Flächen gilt: Bewehrung liegt in Betonfläche 1

| | | | |
|------------|--|---|------------------------|
| $A_{c1} =$ | $(\pi / 4 * (d_i^2 - d_c^2)) * 10^{-2} - A_s$ | = | 371,37 cm ² |
| $I_{c1} =$ | $(\pi / 64 * (d_i^4 - d_c^4)) * 10^{-4} - I_s$ | = | 59469 cm ⁴ |

Betonfläche 2

| | | | |
|------------|------------------------------|---|------------------------|
| $A_{c2} =$ | $\pi / 4 * d_c^2 * 10^{-2}$ | = | 737,34 cm ² |
| $I_{c2} =$ | $\pi / 64 * d_c^4 * 10^{-4}$ | = | 43264 cm ⁴ |

Reduktionsfaktoren für R30

| | | | |
|-----------------|--|---|-------|
| $r_{a\beta} =$ | WENN(U/A ≤ 13; 1,225 - 0,0474 * U/A; 0,894 - 0,0218 * U/A) | = | 0,759 |
| $r_{s\beta} =$ | | = | 1,000 |
| $r_{c1\beta} =$ | WENN(U/A ≤ 14; 0,745 - 0,0001 * U/A; 0,758 - 0,0010 * U/A) | = | 0,744 |
| $r_{c2\beta} =$ | WENN(U/A ≤ 15; 0,921 - 0,0030 * U/A; 0,972 - 0,0064 * U/A) | = | 0,892 |
| $r_{aE} =$ | WENN(U/A ≤ 14; 0,972 - 0,0431 * U/A; 0,576 - 0,0148 * U/A) | = | 0,549 |
| $r_{sE} =$ | | = | 0,945 |
| $r_{c1E} =$ | WENN(U/A ≤ 15; 0,475 - 0,0038 * U/A; 0,584 - 0,0111 * U/A) | = | 0,438 |
| $r_{c2E} =$ | WENN(U/A ≤ 14; 0,921 - 0,0046 * U/A; 1,005 - 0,0106 * U/A) | = | 0,876 |



Vollplastische Normalkraft

$$f_{a,\Phi} = f_{ad} * r_{a\beta} = 17,837 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{s,\Phi} = f_{sd} * r_{s\beta} = 50,000 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{c1,\Phi} = f_{cd} * r_{c1\beta} = 2,232 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{c2,\Phi} = f_{cd} * r_{c2\beta} = 2,676 \text{ kN/cm}^2$$

$$N_{fi,pl,Rd,a} = f_{a,\Phi} * A_a = 1962,07 \text{ kN}$$

$$N_{fi,pl,Rd,s} = f_{s,\Phi} * A_s = 3927,00 \text{ kN}$$

$$N_{fi,pl,Rd,c1} = f_{c1,\Phi} * A_{c1} = 828,90 \text{ kN}$$

$$N_{fi,pl,Rd,c2} = f_{c2,\Phi} * A_{c2} = 1973,12 \text{ kN}$$

$$N_{fi,pl,Rd,c} = N_{fi,pl,Rd,c1} + N_{fi,pl,Rd,c2} = 2802,02 \text{ kN}$$

$$N_{fi,pl,Rd} = N_{fi,pl,Rd,a} + N_{fi,pl,Rd,s} + N_{fi,pl,Rd,c} = \mathbf{8691,09 \text{ kN}}$$

wirksame Biegesteifigkeit

$$EI_{a,\Phi} = E_a * I_a * r_{aE} * 10^{-4} = 25053 \text{ kNm}^2$$

$$EI_{c,\Phi} = E_{cm} * (I_{c1} * r_{c1E} + I_{c2} * r_{c2E}) * 10^{-5} = 21102 \text{ kNm}^2$$

$$EI_{s,\Phi} = E_s * I_s * r_{sE} * 10^{-4} = 17836 \text{ kNm}^2$$

$$EI_{fi,eff} = EI_{a,\Phi} + EI_{c,\Phi} + EI_{s,\Phi} = \mathbf{63991 \text{ kNm}^2}$$

Ideale Knicklast

$$N_{fi,cr} = \pi^2 * \frac{EI_{fi,eff}}{L_\Phi^2} = 53062 \text{ kN}$$

Zentrische Traglast

$$\bar{\lambda}_\Phi = \sqrt{\frac{N_{fi,pl,Rd}}{N_{fi,cr}}} = 0,405$$

$$\kappa_1 = \text{WENN}(\bar{\lambda}_\Phi \leq 0,4; \kappa 1.1; \text{WENN}(\bar{\lambda}_\Phi > 1,5; \kappa 1.2; \kappa 1.3)) = 0,731$$

$$N_{fi,Rd} = N_{fi,pl,Rd} * \kappa_1 = \mathbf{6353,2 \text{ kN}}$$

Nachweis R30 unter zentrischem Druck

$$\frac{N_{fi,Ed}}{N_{fi,Rd}} = \mathbf{\underline{0,40 \leq 1}}$$

Nachweis bei planmäßiger Exzentrizität

Man erhält mit den Steifigkeiten der Kaltbemessung das Moment $M_{fi,Ed,i}$:

$$\begin{aligned}
 M_{fi,Ed,i} &= M_{fi,Ed} / 2 &= & 56,3 \text{ kNm} \\
 L_{\Phi} \cdot 10^3 / d_a & &= & 8,49 \\
 \delta &= M_{fi,Ed,i} / N_{fi,Ed} \cdot 10^2 &= & 2,21 \text{ cm} \\
 \delta / (d_a \cdot 10^{-1}) & &= & \mathbf{0,054}
 \end{aligned}$$

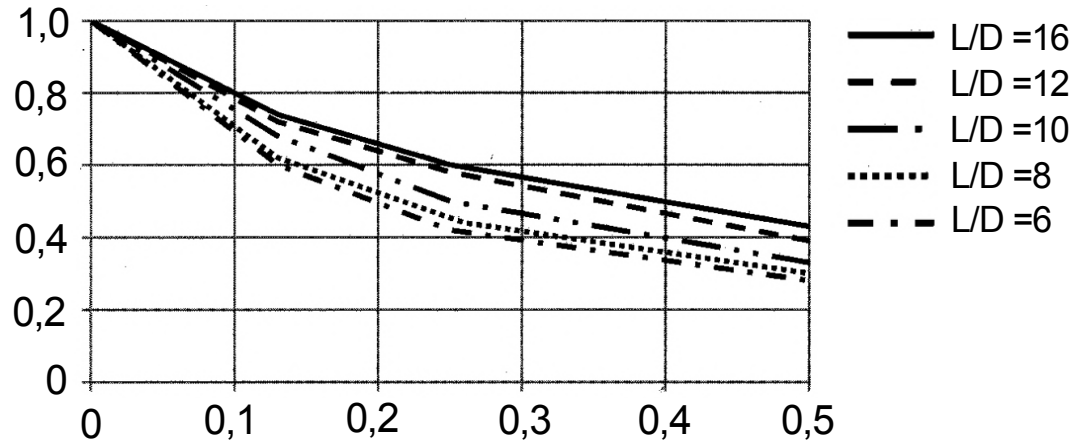


Abb. 1 Beiwert zur Berechnung der exzentrischen Traglast

Aus dem Abb.1 abgelesen, für δ / d_a (bzw. δ / D):

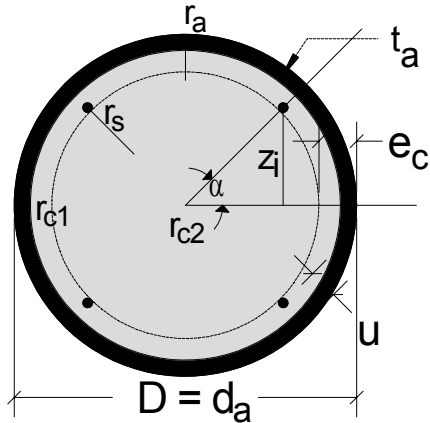
$$\Phi_d = 0,86$$

Nachweis:

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\Phi_d \cdot N_{fi,Rd}} = \mathbf{0,47 \leq 1}$$

Feuerwiderstand R60 für ein betongefülltes Hohlprofil

vereinfachtes Rechenverfahren auf Basis EC4-1-2 (vgl. El-Nesr O., Vereinfachtes Rechenverfahren zur brandschutztechnischen Bemessung von Verbundstützen aus betongefüllten runden Hohlprofilen; Bautechnik 71 (1994) Heft 11) Nachweisstufe 2



Vorgaben

| | | |
|--|----------------------|--------------------|
| Geometrie | | |
| Stützweite $L =$ | | 4,50 m |
| Knicklängenbeiwert $\beta_\Phi =$ | | 0,767 |
| Achsabstand Bew. $u =$ | | 37,5 mm |
| \Rightarrow Knicklänge im Brandfall: | | |
| $L_\Phi =$ | $L \cdot \beta_\Phi$ | $= 3,45 \text{ m}$ |

Einwirkungen

| | | |
|--|--|-----------|
| Bemessungswert der maßgebenden Einwirkungskombination im Brandfall | | |
| $N_{fi,Ed} =$ | | 2550 kN |
| $M_{fi,Ed} =$ | | 112,5 kNm |

Querschnitt und Baustoffe

| | | |
|------------------|--------------------------------|-------------|
| Bewehrung: | | |
| gew. $d_s =$ | GEW("ec4_de/As"; ds ;) | = 25 mm |
| Stabanzahl $n =$ | GEW("ec4_de/As"; n; n ≥ 4) | = 16,0 |
| Stahlrohr: | | |
| Rohr = | GEW("ec4_de/R"; ID;) | ⌀ 406.4x8.8 |
| Stahl = | GEW("ec4_de/mat"; ID;) | = S 235 |
| Beton | | |
| Beton = | GEW("ec4_de/beton_ec2"; Bez;) | = C30/37 |

Querschnittswerte, Baustoffkennwerte

Im Brandfall gilt: $\gamma_{M,fi,a} = 1,0$; $\gamma_{M,fi,s} = 1,0$; $\gamma_{M,fi,c} = 1,0$

| | | |
|--------------|---|--------------------------|
| Bewehrung: | | |
| $A_s =$ | $n \cdot \pi/4 \cdot d_s^2 \cdot 10^{-2}$ | = 78,54 cm ² |
| $E_s =$ | | 20000 kN/cm ² |
| $f_{sk} =$ | | 50 kN/cm ² |
| $f_{sd} =$ | $f_{sk} / 1,0$ | = 50 kN/cm ² |
| $I_s =$ | | 9437 cm ⁴ |
| $W_{pl,s} =$ | | 765 cm ³ |



Stahlrohr:

| | | | |
|------------|--|---|--------------------------|
| $d_a =$ | TAB("ec4_de/R"; d; ID=Rohr) | = | 406,4 mm |
| $t_a =$ | TAB("ec4_de/R"; t; ID=Rohr) | = | 8,80 mm |
| $d_i =$ | $d_a - 2 * t_a$ | = | 388,8 mm |
| $A_a =$ | TAB("ec4_de/R"; A; ID=Rohr) | = | 110,00 cm ² |
| $f_{ay} =$ | TAB("ec4_de/mat"; f _{yk} ; ID=Stahl)/10 | = | 23,5 kN/cm ² |
| $f_{ad} =$ | $f_{ay} / 1,0$ | = | 23,5 kN/cm ² |
| $I_a =$ | TAB("ec4_de/R"; I; ID=Rohr) | = | 21730 cm ⁴ |
| $E_a =$ | TAB("ec4_de/mat"; E; ID=Stahl)/10 | = | 21000 kN/cm ² |

Beton:

| | | | |
|------------|--|---|-------------------------|
| $f_{ck} =$ | TAB("ec4_de/beton_ec2"; f _{ck} ; Bez=Beton) | = | 30 N/mm ² |
| $E_{cm} =$ | TAB("ec4_de/beton_ec2"; E _{cm} ; Bez=Beton) | = | 33000 N/mm ² |
| $f_{cd} =$ | $f_{ck} / 1,0 * 10^{-1}$ | = | 3,00 kN/cm ² |

Überprüfung der Anwendungsgrenzen des Verfahrens

Es wird ein ausgesteiftes Tragwerk vorausgesetzt!



Flächen und Trägheitsmomente der einzelnen Querschnittsbereiche

Beton:

| | | | |
|---------|-----------------|---|----------|
| $e_c =$ | $u + d_s / 2$ | = | 50,0 mm |
| $d_c =$ | $d_a - 2 * e_c$ | = | 306,4 mm |

Betonfläche 1

Für die Überlagerung der Flächen gilt: Bewehrung liegt in Betonfläche 1

| | | | |
|------------|--|---|------------------------|
| $A_{c1} =$ | $(\pi / 4 * (d_i^2 - d_c^2)) * 10^{-2} - A_s$ | = | 371,37 cm ² |
| $I_{c1} =$ | $(\pi / 64 * (d_i^4 - d_c^4)) * 10^{-4} - I_s$ | = | 59469 cm ⁴ |

Betonfläche 2

| | | | |
|------------|-------------------------------|---|------------------------|
| $A_{c2} =$ | $\pi / 4 * d_c^2 * 10^{-2}$ | = | 737,34 cm ² |
| $I_{c2} =$ | $\pi / 64 * d_c^4 * 10^{-4}$ | = | 43264 cm ⁴ |
| $A_c =$ | $A_{c1} + A_{c2}$ | = | 1109 cm ² |
| $\rho =$ | $\frac{A_s}{A_c + A_s} * 100$ | = | 6,61 % |

$$0,8 / \rho = \underline{\underline{0,12 \leq 1}}$$



Reduktionsfaktoren für R60

| | | | |
|-----------------|--|-----|-------|
| $r_{a\beta} =$ | $\text{WENN}(U/A \leq 11; 0,310 - 0,0188 * U/A; 0,124 - 0,0019 * U/A)$ | $=$ | 0,125 |
| $r_{s\beta} =$ | $1,035 * 2,718281828^{(-0,0060 * U/A)}$ | $=$ | 0,976 |
| $r_{c1\beta} =$ | $\text{WENN}(U/A \leq 16; 0,548 - 0,0054 * U/A; 0,684 - 0,0139 * U/A)$ | $=$ | 0,495 |
| $r_{c2\beta} =$ | $0,894 - 0,0078 * U/A$ | $=$ | 0,817 |
| $r_{aE} =$ | $\text{WENN}(U/A \leq 11; 0,148 - 0,0052 * U/A; 0,100 - 0,0008 * U/A)$ | $=$ | 0,097 |
| $r_{sE} =$ | $0,774 * 2,718281828^{(-0,0069 * U/A)}$ | $=$ | 0,723 |
| $r_{c1E} =$ | $\text{WENN}(U/A \leq 11; 0,211 - 0,0102 * U/A; 0,113 - 0,0012 * U/A)$ | $=$ | 0,111 |
| $r_{c2E} =$ | $\text{WENN}(U/A \leq 12; r_{c2E,1}; \text{WENN}(U/A > 15; r_{c2E,2}; r_{c2E,3}))$ | $=$ | 0,651 |

Vollplastische Normalkraft



wirksame Biegesteifigkeit

| | | | |
|-----------------|--|-----|------------------------------|
| $EI_{a,\Phi} =$ | $E_a * I_a * r_{aE} * 10^{-4}$ | $=$ | 4426 kNm ² |
| $EI_{c,\Phi} =$ | $E_{cm} * (I_{c1} * r_{c1E} + I_{c2} * r_{c2E}) * 10^{-5}$ | $=$ | 11473 kNm ² |
| $EI_{s,\Phi} =$ | $E_s * I_s * r_{sE} * 10^{-4}$ | $=$ | 13646 kNm ² |
| $EI_{fi,eff} =$ | $EI_{a,\Phi} + EI_{c,\Phi} + EI_{s,\Phi}$ | $=$ | 29545 kNm² |

Ideale Knicklast

$$N_{fi,cr} = \pi^2 * \frac{EI_{fi,eff}}{L_\Phi^2} = 24499 \text{ kN}$$

Zentrische Traglast

| | | | |
|------------------------|---|-----|------------------|
| $\bar{\lambda}_\Phi =$ | $\sqrt{\frac{N_{fi,pl,Rd}}{N_{fi,cr}}}$ | $=$ | 0,516 |
| $\kappa_1 =$ | $\text{WENN}(\bar{\lambda}_\Phi \leq 0,4; \kappa_1.1; \text{WENN}(\bar{\lambda}_\Phi > 1,5; \kappa_1.2; \kappa_1.3))$ | $=$ | 0,626 |
| $N_{fi,Rd} =$ | $N_{fi,pl,Rd} * \kappa_1$ | $=$ | 4078,2 kN |

Nachweis unter zentrischem Druck

$$\frac{N_{fi,Ed}}{N_{fi,Rd}} = \underline{\underline{0,63 \leq 1}}$$



Nachweis bei planmäßiger Exzentrizität

Man erhält mit den Steifigkeiten der Kaltbemessung das Moment $M_{fi,Ed,i}$:

$$M_{fi,Ed,i} = M_{fi,Ed} / 2 = 56,3 \text{ kNm}$$

$$L_{\phi} \cdot 10^3 / d_a = 8,49$$

$$\delta = M_{fi,Ed,i} / N_{fi,Ed} \cdot 10^2 = 2,21 \text{ cm}$$

$$\delta / (d_a \cdot 10^{-1}) = 0,054$$

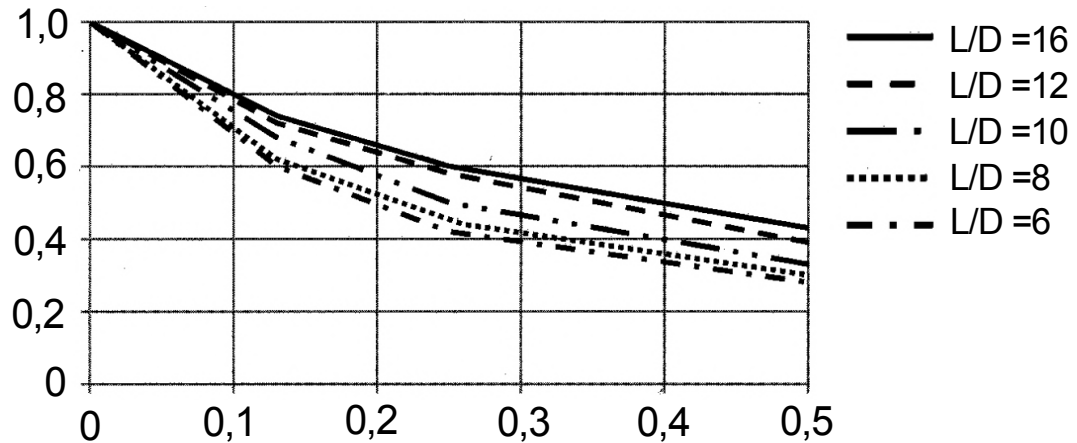


Abb. 1 Beiwert zur Berechnung der exzentrischen Traglast

Aus dem Abb.1 abgelesen, für δ / d_a (bzw. δ / D):

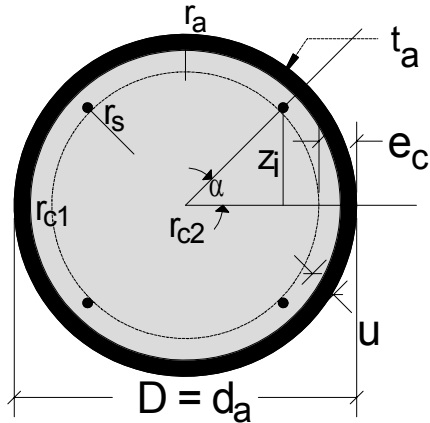
$$\Phi_d = 0,86$$

Nachweis:

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\Phi_d \cdot N_{fi,Rd}} = 0,73 \leq 1$$

Feuerwiderstand R90 für ein betongefülltes Hohlprofil

vereinfachtes Rechenverfahren auf Basis EC4-1-2 (vgl. El-Nesr O., Vereinfachtes Rechenverfahren zur brandschutztechnischen Bemessung von Verbundstützen aus betongefüllten runden Hohlprofilen; Bautechnik 71 (1994) Heft 11) Nachweisstufe 2



Vorgaben

| | | |
|-----------------------------------|----------------------|----------|
| Geometrie | | |
| Stützweite L = | | 4,50 m |
| Knicklängenbeiwert β_Φ = | | 0,767 |
| Achsabstand Bew. u = | | 37,5 mm |
| ⇒ Knicklänge im Brandfall: | | |
| L_Φ = | $L \cdot \beta_\Phi$ | = 3,45 m |

Einwirkungen

| | |
|--|-----------|
| Bemessungswert der maßgebenden Einwirkungskombination im Brandfall | |
| $N_{fi,Ed}$ = | 2550 kN |
| $M_{fi,Ed}$ = | 112,5 kNm |

Querschnitt und Baustoffe

| | | |
|----------------|--------------------------------|-------------|
| Bewehrung: | | |
| gew. d_s = | GEW("ec4_de/As"; ds ;) | = 25 mm |
| Stabanzahl n = | GEW("ec4_de/As";n;n≥4) | = 16,0 |
| Stahlrohr: | | |
| Rohr = | GEW("ec4_de/R";ID;) | ≙ 406.4x8.8 |
| Stahl = | GEW("ec4_de/mat"; ID;) | = S 235 |
| Beton | | |
| Beton = | GEW("ec4_de/beton_ec2"; Bez;) | = C30/37 |

Querschnittswerte, Baustoffkennwerte

Im Brandfall gilt: $\gamma_{M,fi,a} = 1,0$; $\gamma_{M,fi,s} = 1,0$; $\gamma_{M,fi,c} = 1,0$

| | | |
|--------------|---|--------------------------|
| Bewehrung: | | |
| A_s = | $n \cdot \pi/4 \cdot d_s^2 \cdot 10^{-2}$ | = 78,54 cm ² |
| E_s = | | 20000 kN/cm ² |
| f_{sk} = | | 50 kN/cm ² |
| f_{sd} = | $f_{sk} / 1,0$ | = 50 kN/cm ² |
| I_s = | | 9437 cm ⁴ |
| $W_{pl,s}$ = | | 765 cm ³ |



Stahlrohr:

| | | | |
|------------|--|---|--------------------------|
| $d_a =$ | TAB("ec4_de/R"; d; ID=Rohr) | = | 406,4 mm |
| $t_a =$ | TAB("ec4_de/R"; t; ID=Rohr) | = | 8,80 mm |
| $d_i =$ | $d_a - 2 \cdot t_a$ | = | 388,8 mm |
| $A_a =$ | TAB("ec4_de/R"; A; ID=Rohr) | = | 110,00 cm ² |
| $f_{ay} =$ | TAB("ec4_de/mat"; f _{yk} ; ID=Stahl)/10 | = | 23,5 kN/cm ² |
| $f_{ad} =$ | $f_{ay} / 1,0$ | = | 23,5 kN/cm ² |
| $I_a =$ | TAB("ec4_de/R"; I; ID=Rohr) | = | 21730 cm ⁴ |
| $E_a =$ | TAB("ec4_de/mat"; E; ID=Stahl)/10 | = | 21000 kN/cm ² |

Beton:

| | | | |
|------------|--|---|-------------------------|
| $f_{ck} =$ | TAB("ec4_de/beton_ec2"; f _{ck} ; Bez=Beton) | = | 30 N/mm ² |
| $E_{cm} =$ | TAB("ec4_de/beton_ec2"; E _{cm} ; Bez=Beton) | = | 33000 N/mm ² |
| $f_{cd} =$ | $f_{ck} / 1,0 \cdot 10^{-1}$ | = | 3,00 kN/cm ² |

Überprüfung der Anwendungsgrenzen des Verfahrens

Es wird ein ausgesteiftes Tragwerk vorausgesetzt!



Flächen und Trägheitsmomente der einzelnen Querschnittsbereiche

Beton:

| | | | |
|---------|---------------------|---|----------|
| $e_c =$ | $u + d_s / 2$ | = | 50,0 mm |
| $d_c =$ | $d_a - 2 \cdot e_c$ | = | 306,4 mm |

Betonfläche 1

Für die Überlagerung der Flächen gilt: Bewehrung liegt in Betonfläche 1

| | | | |
|------------|--|---|------------------------|
| $A_{c1} =$ | $(\pi / 4 \cdot (d_i^2 - d_c^2)) \cdot 10^{-2} - A_s$ | = | 371,37 cm ² |
| $I_{c1} =$ | $(\pi / 64 \cdot (d_i^4 - d_c^4)) \cdot 10^{-4} - I_s$ | = | 59469 cm ⁴ |

Betonfläche 2

| | | | |
|--------------|--------------------------------------|---|------------------------|
| $A_{c2} =$ | $\pi / 4 \cdot d_c^2 \cdot 10^{-2}$ | = | 737,34 cm ² |
| $I_{c2} =$ | $\pi / 64 \cdot d_c^4 \cdot 10^{-4}$ | = | 43264 cm ⁴ |
| $A_c =$ | $A_{c1} + A_{c2}$ | = | 1109 cm ² |
| $\rho =$ | $\frac{A_s}{A_c + A_s} \cdot 100$ | = | 6,61 % |
| $1,0 / \rho$ | | = | <u>0,15 ≤ 1</u> |



Reduktionsfaktoren für R90

$$\begin{aligned}r_{a\beta} &= \text{WENN}(U/A \leq 11; 0,092 - 0,0034 * U/A; 0,059 - 0,0004 * U/A) &= & 0,059 \\r_{s\beta} &= 1,051 * 2,718281828^{(-0,0391 * U/A)} &= & 0,716 \\r_{c1\beta} &= \text{WENN}(U/A \leq 16; 0,342 - 0,0036 * U/A; 0,436 - 0,0095 * U/A) &= & 0,307 \\r_{c2\beta} &= \text{WENN}(U/A \leq 17; 0,812 - 0,0049 * U/A; 1,697 - 0,057 * U/A) &= & 0,764 \\r_{aE} &= \text{WENN}(U/A \leq 11; 0,089 - 0,0019 * U/A; 0,074 - 0,0005 * U/A) &= & 0,070 \\r_{sE} &= 0,844 * 2,718281828^{(-0,051 * U/A)} &= & 0,511 \\r_{c1E} &= 0,091 - 0,0012 * U/A &= & 0,079 \\r_{c2E} &= \text{WENN}(U/A \leq 15; r_{c2E,1}; \text{WENN}(U/A > 21; r_{c2E,3}; r_{c2E,2})) &= & 0,491\end{aligned}$$

Vollplastische Normalkraft



$$N_{fi,pl,Rd} = N_{fi,pl,Rd,a} + N_{fi,pl,Rd,s} + N_{fi,pl,Rd,c} = 4996,31 \text{ kN}$$

wirksame Biegesteifigkeit

$$\begin{aligned}EI_{a,\Phi} &= E_a * I_a * r_{aE} * 10^{-4} &= & 3194 \text{ kNm}^2 \\EI_{c,\Phi} &= E_{cm} * (I_{c1} * r_{c1E} + I_{c2} * r_{c2E}) * 10^{-5} &= & 8560 \text{ kNm}^2 \\EI_{s,\Phi} &= E_s * I_s * r_{sE} * 10^{-4} &= & 9645 \text{ kNm}^2 \\EI_{fi,eff} &= EI_{a,\Phi} + EI_{c,\Phi} + EI_{s,\Phi} &= & 21399 \text{ kNm}^2\end{aligned}$$

Ideale Knicklast

$$N_{fi,cr} = \pi^2 * \frac{EI_{fi,eff}}{L_\Phi^2} = 17744 \text{ kN}$$

Zentrische Traglast

$$\begin{aligned}\bar{\lambda}_\Phi &= \sqrt{\frac{N_{fi,pl,Rd}}{N_{fi,cr}}} &= & 0,531 \\ \kappa_1 &= \text{WENN}(\bar{\lambda}_\Phi \leq 0,4; \kappa 1.1; \text{WENN}(\bar{\lambda}_\Phi > 1,5; \kappa 1.2; \kappa 1.3)) &= & 0,612 \\ N_{fi,Rd} &= N_{fi,pl,Rd} * \kappa_1 &= & 3057,7 \text{ kN}\end{aligned}$$

Nachweis R90 unter zentrischem Druck

$$\frac{N_{fi,Ed}}{N_{fi,Rd}} = \underline{\underline{0,83 \leq 1}}$$

Nachweis bei planmäßiger Exzentrizität

Man erhält mit den Steifigkeiten der Kaltbemessung das Moment $M_{fi,Ed,i}$:

$$\begin{aligned}
 M_{fi,Ed,I} &= M_{fi,Ed} / 2 &= & 56,3 \text{ kNm} \\
 L_{\Phi} \cdot 10^3 / d_a & &= & 8,49 \\
 \delta &= M_{fi,Ed,I} / N_{fi,Ed} \cdot 10^2 &= & 2,21 \text{ cm} \\
 \delta / (d_a \cdot 10^{-1}) & &= & \mathbf{0,054}
 \end{aligned}$$

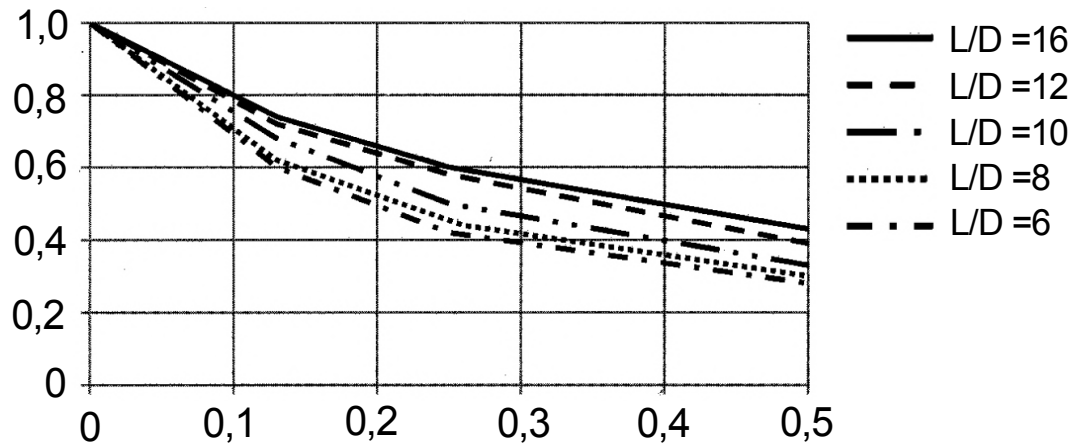


Abb. 1 Beiwert zur Berechnung der exzentrischen Traglast

Aus dem Abb.1 abgelesen, für δ / d_a (bzw. δ / D):

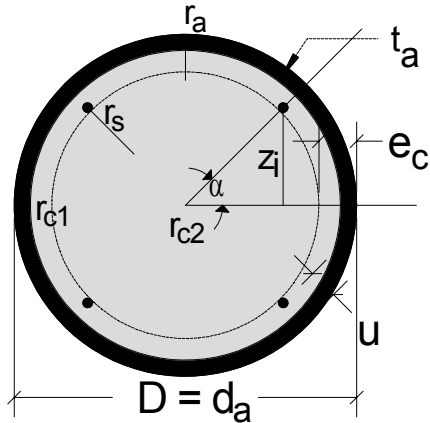
$$\Phi_d = 0,86$$

Nachweis:

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\Phi_d \cdot N_{fi,Rd}} = \mathbf{0,97 \leq 1}$$

Feuerwiderstand R120 für ein betongefülltes Hohlprofil

vereinfachtes Rechenverfahren auf Basis EC4-1-2 (vgl. El-Nesr O., Vereinfachtes Rechenverfahren zur brandschutztechnischen Bemessung von Verbundstützen aus betongefüllten runden Hohlprofilen; Bautechnik 71 (1994) Heft 11) Nachweisstufe 2



Vorgaben

| | | |
|-----------------------------------|----------------------|----------|
| Geometrie | | |
| Stützweite L = | | 4,50 m |
| Knicklängenbeiwert β_Φ = | | 0,767 |
| Achsabstand Bew. u = | | 37,5 mm |
| ⇒ Knicklänge im Brandfall: | | |
| L_Φ = | $L \cdot \beta_\Phi$ | = 3,45 m |

Einwirkungen

| | | |
|--|--|-----------|
| Bemessungswert der maßgebenden Einwirkungskombination im Brandfall | | |
| $N_{fi,Ed}$ = | | 2550 kN |
| $M_{fi,Ed}$ = | | 112,5 kNm |

Querschnitt und Baustoffe

| | | |
|----------------|--------------------------------|-------------|
| Bewehrung: | | |
| gew. d_s = | GEW("ec4_de/As"; ds ;) | = 25 mm |
| Stabanzahl n = | GEW("ec4_de/As"; n; n ≥ 4) | = 16,0 |
| Stahlrohr: | | |
| Rohr = | GEW("ec4_de/R"; ID;) | ⌀ 406.4x8.8 |
| Stahl = | GEW("ec4_de/mat"; ID;) | = S 235 |
| Beton | | |
| Beton = | GEW("ec4_de/beton_ec2"; Bez;) | = C30/37 |

Querschnittswerte, Baustoffkennwerte

Im Brandfall gilt: $\gamma_{M,fi,a} = 1,0$; $\gamma_{M,fi,s} = 1,0$; $\gamma_{M,fi,c} = 1,0$

| | | |
|--------------|---|--------------------------|
| Bewehrung: | | |
| A_s = | $n \cdot \pi/4 \cdot d_s^2 \cdot 10^{-2}$ | = 78,54 cm ² |
| E_s = | | 20000 kN/cm ² |
| f_{sk} = | | 50 kN/cm ² |
| f_{sd} = | $f_{sk} / 1,0$ | = 50 kN/cm ² |
| I_s = | | 9437 cm ⁴ |
| $W_{pl,s}$ = | | 765 cm ³ |



Stahlrohr:

| | | | |
|------------|--|---|--------------------------|
| $d_a =$ | TAB("ec4_de/R"; d; ID=Rohr) | = | 406,4 mm |
| $t_a =$ | TAB("ec4_de/R"; t; ID=Rohr) | = | 8,80 mm |
| $d_i =$ | $d_a - 2 * t_a$ | = | 388,8 mm |
| $A_a =$ | TAB("ec4_de/R"; A; ID=Rohr) | = | 110,00 cm ² |
| $f_{ay} =$ | TAB("ec4_de/mat"; f _{yk} ; ID=Stahl)/10 | = | 23,5 kN/cm ² |
| $f_{ad} =$ | $f_{ay} / 1,0$ | = | 23,5 kN/cm ² |
| $I_a =$ | TAB("ec4_de/R"; I; ID=Rohr) | = | 21730 cm ⁴ |
| $E_a =$ | TAB("ec4_de/mat"; E; ID=Stahl)/10 | = | 21000 kN/cm ² |

Beton:

| | | | |
|------------|--|---|-------------------------|
| $f_{ck} =$ | TAB("ec4_de/beton_ec2"; f _{ck} ; Bez=Beton) | = | 30 N/mm ² |
| $E_{cm} =$ | TAB("ec4_de/beton_ec2"; E _{cm} ; Bez=Beton) | = | 33000 N/mm ² |
| $f_{cd} =$ | $f_{ck} / 1,0 * 10^{-1}$ | = | 3,00 kN/cm ² |

Überprüfung der Anwendungsgrenzen des Verfahrens

Es wird ein ausgesteiftes Tragwerk vorausgesetzt!



Flächen und Trägheitsmomente der einzelnen Querschnittsbereiche

Beton:

| | | | |
|---------|-----------------|---|----------|
| $e_c =$ | $u + d_s / 2$ | = | 50,0 mm |
| $d_c =$ | $d_a - 2 * e_c$ | = | 306,4 mm |

Betonfläche 1

Für die Überlagerung der Flächen gilt: Bewehrung liegt in Betonfläche 1

| | | | |
|------------|--|---|------------------------|
| $A_{c1} =$ | $(\pi / 4 * (d_i^2 - d_c^2)) * 10^{-2} - A_s$ | = | 371,37 cm ² |
| $I_{c1} =$ | $(\pi / 64 * (d_i^4 - d_c^4)) * 10^{-4} - I_s$ | = | 59469 cm ⁴ |

Betonfläche 2

| | | | |
|------------|-------------------------------|---|------------------------|
| $A_{c2} =$ | $\pi / 4 * d_c^2 * 10^{-2}$ | = | 737,34 cm ² |
| $I_{c2} =$ | $\pi / 64 * d_c^4 * 10^{-4}$ | = | 43264 cm ⁴ |
| $A_c =$ | $A_{c1} + A_{c2}$ | = | 1109 cm ² |
| $\rho =$ | $\frac{A_s}{A_c + A_s} * 100$ | = | 6,61 % |

$$1,0 / \rho = \underline{\underline{0,15 \leq 1}}$$



Reduktionsfaktoren für R120

$$\begin{aligned}r_{a\beta} &= \text{WENN}(U/A \leq 12; 0,053 - 0,0008 * U/A; 0,047 - 0,0003 * U/A) &= & 0,045 \\r_{s\beta} &= 0,880 * 2,718281828^{(-0,0754 * U/A)} &= & 0,420 \\r_{c1\beta} &= \text{WENN}(U/A \leq 15; 0,258 - 0,0036 * U/A; 0,312 - 0,0072 * U/A) &= & 0,223 \\r_{c2\beta} &= \text{WENN}(U/A \leq 12; 0,794 - 0,0051 * U/A; 1,277 - 0,0453 * U/A) &= & 0,744 \\r_{aE} &= \text{WENN}(U/A \leq 12; 0,067 - 0,0011 * U/A; 0,059 - 0,0004 * U/A) &= & 0,056 \\r_{sE} &= 0,479 * 2,718281828^{(-0,0645 * U/A)} &= & 0,254 \\r_{c1E} &= 0,077 - 0,0012 * U/A &= & 0,065 \\r_{c2E} &= \text{WENN}(U/A \leq 17; 0,747 - 0,0385 * U/A; 0,152 - 0,0035 * U/A) &= & 0,369\end{aligned}$$

Vollplastische Normalkraft



$$N_{fi,pl,Rd} = N_{fi,pl,Rd,a} + N_{fi,pl,Rd,s} + N_{fi,pl,Rd,c} = 3659,91 \text{ kN}$$

wirksame Biegesteifigkeit

$$\begin{aligned}EI_{a,\Phi} &= E_a * I_a * r_{aE} * 10^{-4} &= & 2555 \text{ kNm}^2 \\EI_{c,\Phi} &= E_{cm} * (I_{c1} * r_{c1E} + I_{c2} * r_{c2E}) * 10^{-5} &= & 6544 \text{ kNm}^2 \\EI_{s,\Phi} &= E_s * I_s * r_{sE} * 10^{-4} &= & 4794 \text{ kNm}^2 \\EI_{fi,eff} &= EI_{a,\Phi} + EI_{c,\Phi} + EI_{s,\Phi} &= & 13893 \text{ kNm}^2\end{aligned}$$

Ideale Knicklast

$$N_{fi,cr} = \pi^2 * \frac{EI_{fi,eff}}{L_{\Phi}^2} = 11520 \text{ kN}$$

Zentrische Traglast

$$\begin{aligned}\bar{\lambda}_{\Phi} &= \sqrt{\frac{N_{fi,pl,Rd}}{N_{fi,cr}}} &= & 0,564 \\ \kappa_1 &= \text{WENN}(\bar{\lambda}_{\Phi} \leq 0,4; \kappa_1.1; \text{WENN}(\bar{\lambda}_{\Phi} > 1,5; \kappa_1.2; \kappa_1.3)) &= & 0,583 \\ N_{fi,Rd} &= N_{fi,pl,Rd} * \kappa_1 &= & 2133,7 \text{ kN}\end{aligned}$$

Nachweis R120 unter zentrischem Druck

$$\frac{N_{fi,Ed}}{N_{fi,Rd}} = \underline{1,20} \leq 1$$

Nachweis bei planmäßiger Exzentrizität

Man erhält mit den Steifigkeiten der Kaltbemessung das Moment $M_{fi,Ed,i}$:

$$\begin{aligned}
 M_{fi,Ed,I} &= M_{fi,Ed} / 2 &= & 56,3 \text{ kNm} \\
 L_{\Phi} \cdot 10^3 / d_a & &= & 8,49 \\
 \delta &= M_{fi,Ed,I} / N_{fi,Ed} \cdot 10^2 &= & 2,21 \text{ cm} \\
 \delta / (d_a \cdot 10^{-1}) & &= & \mathbf{0,054}
 \end{aligned}$$

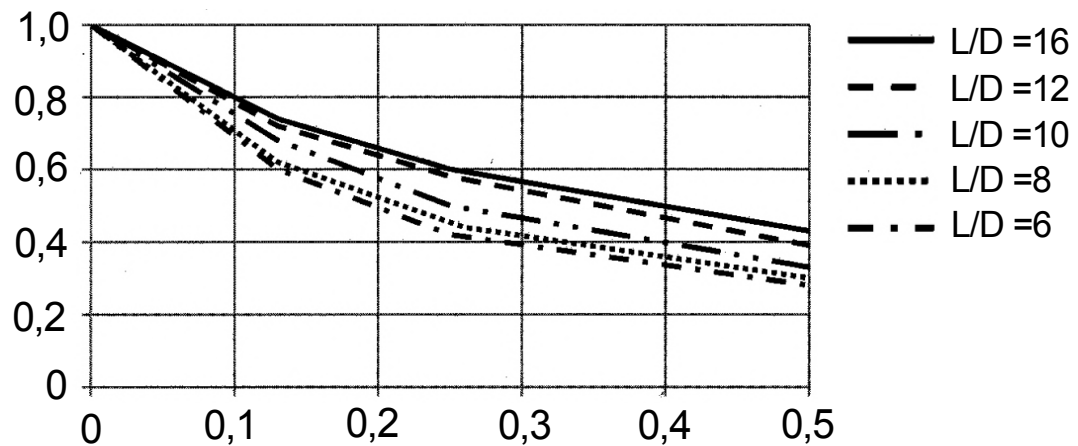


Abb. 1 Beiwert zur Berechnung der exzentrischen Traglast

Aus dem Abb.1 abgelesen, für δ / d_a (bzw. δ / D):

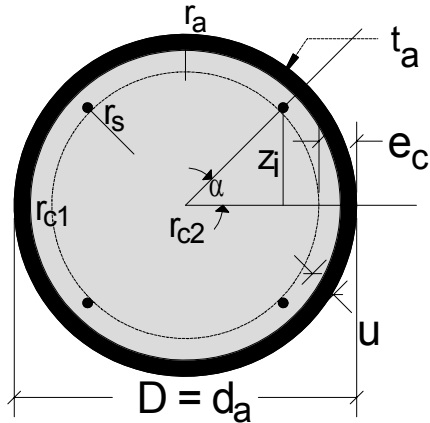
$$\Phi_d = 0,86$$

Nachweis R120:

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\Phi_d \cdot N_{fi,Rd}} = \mathbf{1,39 \leq 1}$$

Feuerwiderstand R180 für ein betongefülltes Hohlprofil

vereinfachtes Rechenverfahren auf Basis EC4-1-2 (vgl. El-Nesr O., Vereinfachtes Rechenverfahren zur brandschutztechnischen Bemessung von Verbundstützen aus betongefüllten runden Hohlprofilen; Bautechnik 71 (1994) Heft 11) Nachweisstufe 2



Vorgaben

| | | |
|-----------------------------------|----------------------|----------|
| Geometrie | | |
| Stützweite L = | | 4,50 m |
| Knicklängenbeiwert β_Φ = | | 0,767 |
| Achsabstand Bew. u = | | 37,5 mm |
| ⇒ Knicklänge im Brandfall: | | |
| L_Φ = | $L \cdot \beta_\Phi$ | = 3,45 m |

Einwirkungen

| | | |
|--|--|-----------|
| Bemessungswert der maßgebenden Einwirkungskombination im Brandfall | | |
| $N_{fi,Ed}$ = | | 2550 kN |
| $M_{fi,Ed}$ = | | 112,5 kNm |

Querschnitt und Baustoffe

| | | |
|----------------|--------------------------------|-------------|
| Bewehrung: | | |
| gew. d_s = | GEW("ec4_de/As"; ds ;) | = 25 mm |
| Stabanzahl n = | GEW("ec4_de/As"; n; n ≥ 4) | = 16,0 |
| Stahlrohr: | | |
| Rohr = | GEW("ec4_de/R"; ID;) | ≙ 406.4x8.8 |
| Stahl = | GEW("ec4_de/mat"; ID;) | = S 235 |
| Beton | | |
| Beton = | GEW("ec4_de/beton_ec2"; Bez;) | = C30/37 |

Querschnittswerte, Baustoffkennwerte

Im Brandfall gilt: $\gamma_{M,fi,a} = 1,0$; $\gamma_{M,fi,s} = 1,0$; $\gamma_{M,fi,c} = 1,0$

| | | |
|--------------|---|--------------------------|
| Bewehrung: | | |
| A_s = | $n \cdot \pi/4 \cdot d_s^2 \cdot 10^{-2}$ | = 78,54 cm ² |
| E_s = | | 20000 kN/cm ² |
| f_{sk} = | | 50 kN/cm ² |
| f_{sd} = | $f_{sk} / 1,0$ | = 50 kN/cm ² |
| I_s = | | 9437 cm ⁴ |
| $W_{pl,s}$ = | | 765 cm ³ |



Stahlrohr:

| | | | |
|------------|--|---|--------------------------|
| $d_a =$ | TAB("ec4_de/R"; d; ID=Rohr) | = | 406,4 mm |
| $t_a =$ | TAB("ec4_de/R"; t; ID=Rohr) | = | 8,80 mm |
| $d_i =$ | $d_a - 2 * t_a$ | = | 388,8 mm |
| $A_a =$ | TAB("ec4_de/R"; A; ID=Rohr) | = | 110,00 cm ² |
| $f_{ay} =$ | TAB("ec4_de/mat"; f _{yk} ; ID=Stahl)/10 | = | 23,5 kN/cm ² |
| $f_{ad} =$ | $f_{ay} / 1,0$ | = | 23,5 kN/cm ² |
| $I_a =$ | TAB("ec4_de/R"; I; ID=Rohr) | = | 21730 cm ⁴ |
| $E_a =$ | TAB("ec4_de/mat"; E; ID=Stahl)/10 | = | 21000 kN/cm ² |

Beton:

| | | | |
|------------|--|---|-------------------------|
| $f_{ck} =$ | TAB("ec4_de/beton_ec2"; f _{ck} ; Bez=Beton) | = | 30 N/mm ² |
| $E_{cm} =$ | TAB("ec4_de/beton_ec2"; E _{cm} ; Bez=Beton) | = | 33000 N/mm ² |
| $f_{cd} =$ | $f_{ck} / 1,0 * 10^{-1}$ | = | 3,00 kN/cm ² |

Überprüfung der Anwendungsgrenzen des Verfahrens

Es wird ein ausgesteiftes Tragwerk vorausgesetzt!



Flächen und Trägheitsmomente der einzelnen Querschnittsbereiche

Beton:

| | | | |
|---------|-----------------|---|----------|
| $e_c =$ | $u + d_s / 2$ | = | 50,0 mm |
| $d_c =$ | $d_a - 2 * e_c$ | = | 306,4 mm |

Betonfläche 1

Für die Überlagerung der Flächen gilt: Bewehrung liegt in Betonfläche 1

| | | | |
|------------|--|---|------------------------|
| $A_{c1} =$ | $(\pi / 4 * (d_i^2 - d_c^2)) * 10^{-2} - A_s$ | = | 371,37 cm ² |
| $I_{c1} =$ | $(\pi / 64 * (d_i^4 - d_c^4)) * 10^{-4} - I_s$ | = | 59469 cm ⁴ |

Betonfläche 2

| | | | |
|--------------|-------------------------------|---|------------------------|
| $A_{c2} =$ | $\pi / 4 * d_c^2 * 10^{-2}$ | = | 737,34 cm ² |
| $I_{c2} =$ | $\pi / 64 * d_c^4 * 10^{-4}$ | = | 43264 cm ⁴ |
| $A_c =$ | $A_{c1} + A_{c2}$ | = | 1109 cm ² |
| $\rho =$ | $\frac{A_s}{A_c + A_s} * 100$ | = | 6,61 % |
| $1,0 / \rho$ | | = | <u>0,15 ≤ 1</u> |



Reduktionsfaktoren für R180

| | | | |
|-----------------|--|-----|-------|
| $r_{a\beta} =$ | $\text{WENN}(U/A \leq 13; 0,036 - 0,0005 \cdot U/A; 0,033 - 0,0002 \cdot U/A)$ | $=$ | 0,031 |
| $r_{s\beta} =$ | $0,279 \cdot 2,718281828^{(-0,0776 \cdot U/A)}$ | $=$ | 0,130 |
| $r_{c1\beta} =$ | $0,185 - 0,0051 \cdot U/A$ | $=$ | 0,135 |
| $r_{c2\beta} =$ | $\text{WENN}(U/A \leq 10; r_{c2\beta,1}; \text{WENN}(U/A > 14; r_{c2\beta,2}; r_{c2\beta,3}))$ | $=$ | 0,685 |
| $r_{aE} =$ | $\text{WENN}(U/A \leq 14; 0,045 - 0,0006 \cdot U/A; 0,040 - 0,0002 \cdot U/A)$ | $=$ | 0,039 |
| $r_{sE} =$ | $0,144 \cdot 2,718281828^{(-0,0382 \cdot U/A)}$ | $=$ | 0,099 |
| $r_{c1E} =$ | $0,058 - 0,0012 \cdot U/A$ | $=$ | 0,046 |
| $r_{c2E} =$ | $\text{WENN}(U/A \leq 11; 0,635 - 0,0493 \cdot U/A; 0,139 - 0,0042 \cdot U/A)$ | $=$ | 0,151 |

Vollplastische Normalkraft



$$N_{fi,pl,Rd} = N_{fi,pl,Rd,a} + N_{fi,pl,Rd,s} + N_{fi,pl,Rd,c} = \mathbf{2256,33 \text{ kN}}$$

wirksame Biegesteifigkeit

| | | | |
|-----------------|--|-----|-----------------------------|
| $EI_{a,\Phi} =$ | $E_a \cdot I_a \cdot r_{aE} \cdot 10^{-4}$ | $=$ | 1780 kNm ² |
| $EI_{c,\Phi} =$ | $E_{cm} \cdot (I_{c1} \cdot r_{c1E} + I_{c2} \cdot r_{c2E}) \cdot 10^{-5}$ | $=$ | 3059 kNm ² |
| $EI_{s,\Phi} =$ | $E_s \cdot I_s \cdot r_{sE} \cdot 10^{-4}$ | $=$ | 1869 kNm ² |
| $EI_{fi,eff} =$ | $EI_{a,\Phi} + EI_{c,\Phi} + EI_{s,\Phi}$ | $=$ | 6708 kNm² |

Ideale Knicklast

$$N_{fi,cr} = \pi^2 \cdot \frac{EI_{fi,eff}}{L_{\Phi}^2} = 5562 \text{ kN}$$

Zentrische Traglast

| | | | |
|--------------------------|---|-----|------------------|
| $\bar{\lambda}_{\Phi} =$ | $\sqrt{\frac{N_{fi,pl,Rd}}{N_{fi,cr}}}$ | $=$ | 0,637 |
| $\kappa_1 =$ | $\text{WENN}(\bar{\lambda}_{\Phi} \leq 0,4; \kappa_1 1,1; \text{WENN}(\bar{\lambda}_{\Phi} > 1,5; \kappa_1 1,2; \kappa_1 1,3))$ | $=$ | 0,519 |
| $N_{fi,Rd} =$ | $N_{fi,pl,Rd} \cdot \kappa_1$ | $=$ | 1171,0 kN |

Nachweis R180 unter zentrischem Druck

$$\frac{N_{fi,Ed}}{N_{fi,Rd}} = \mathbf{2,18 \leq 1}$$

Nachweis bei planmäßiger Exzentrizität

Man erhält mit den Steifigkeiten der Kaltbemessung das Moment $M_{fi,Ed,i}$:

$$M_{fi,Ed,i} = M_{fi,Ed} / 2 = 56,3 \text{ kNm}$$

$$L_{\phi} \cdot 10^3 / d_a = 8,49$$

$$\delta = M_{fi,Ed,i} / N_{fi,Ed} \cdot 10^2 = 2,21 \text{ cm}$$

$$\delta / (d_a \cdot 10^{-1}) = 0,054$$

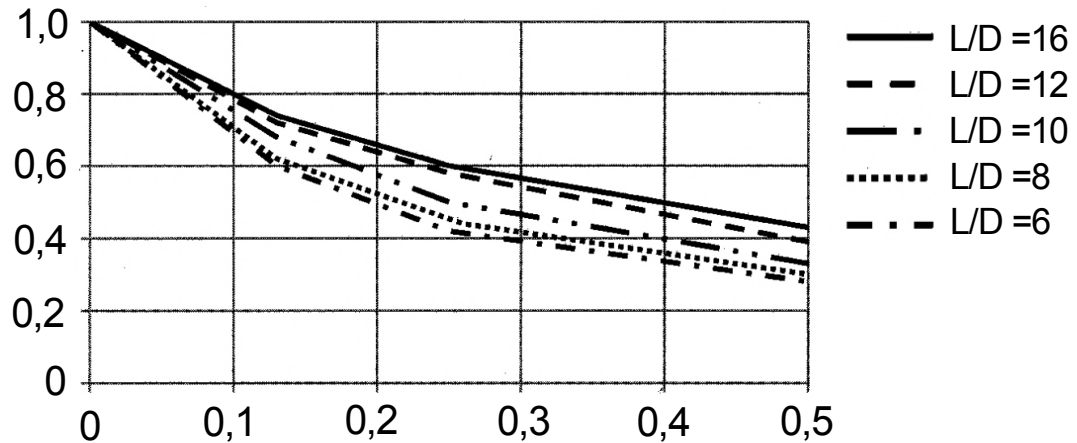


Abb. 1 Beiwert zur Berechnung der exzentrischen Traglast

Aus dem Abb.1 abgelesen, für δ / d_a (bzw. δ / D):

$$\Phi_d = 0,86$$

Nachweis R180:

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\Phi_d \cdot N_{fi,Rd}} = 2,53 \leq 1$$