

STAHLBAU I-III

© chager – Version 2013 - 1.0

Prof. M. Fontana, ETHZ

WERKSTOFF KENNZAHLEN

EIGENSCHAFTEN SIA 3.2.2

Dichte:	$\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$	ρ_s
E-Modul:	$E = 210 \text{ kN/mm}^2$	e210
Schubmodul:	$G = 81 \text{ kN/mm}^2$	gg
Querdehnzahl:	$\nu = 0.3$	
Temperaturdehnung:	$\alpha_T = 10 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$	as

ZULÄSSIGE SPANNUNGEN SIA 3.2.2.3

Stahlsorte	f_y	$\tau_y = f_y/\sqrt{3}$	f_u
S 235	235	135	360
S 275	275	160	430
S 355	355	205	510
S 460	460	265	550

→ Ab $t = 40 \text{ mm}$ gelten andere Werte (s16)→ TR: fy235, ty355, fu460 γ_{M1} , fcd25, fcm25 fctm25, Es, Ea

WIDERSTANDSBEIWERTE SIA 4.1

$\gamma_{M1} = 1.05$	Festigkeit, Stabilität, Profilquerschnitte	γ_{M1}
$\gamma_{M2} = 1.25$	Verbindungsmittel, Nettoquerschnitt	γ_{M2}

BAUSTATIK

SCHWERPUNKT

Allgemein: $\Delta s = \frac{M}{A} = \frac{\int x \, dx}{\int A \, dx}$

Vereinfacht: $\Delta s = \frac{\sum (A_i \cdot s_i)}{\sum A_i} = \sum (s_i \cdot \mu A_{tot})$

TRÄGHEITSMOMENTE

Definition: $I_y = \iint_A z^2 \, dA$ [m^4]

Satz von Steiner: $I' = I_s + (\Delta z)^2 \cdot A$

Je dezentraler desto grösser wird I , Bei Symmetrie = 0

STANDARDFÄLLE

Rechteck: $I_y = \frac{B \cdot H^3}{12}$

Kreisquerschnitt: $I_y = I_z = \frac{\pi R^4}{4}$ $I_p = 2I_y$

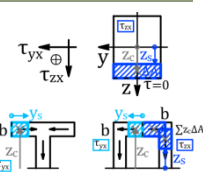
STATISCHES MOMENT

Definition: $S_y = \iint_A z \, dA$

Vereinfacht: $S_y = \sum z_c \cdot \Delta A$

• z_c von SP Querschnitt zu SP Fläche• S_y : Abstand immer in z -Richtung

• Flächen immer von Sp.-freier Oberfläche aus



STANDARDFÄLLE

Rechteck: $S_y = \frac{b}{2} \left(\frac{h^2}{4} - z^2 \right)$

Kreisquerschnitt: $S_y = \frac{2}{3} (R^2 - z^2)^{3/2}$

NB: $\tau_{yx} = -\frac{z}{y} \tau_{zx}$

WIDERSTANDS/BIEGE-MOMENTE

Elastisch: $W_{el} = I/a_{max}$ Bei H,I in Flanschnitte

Für Rechteck: $W_{el} = \frac{bh^2}{6}$

Plastisch: $W_{pl} = M_{pl}/f_y$ (Def. über Moment)

$W_{pl} = \sum A_i z_i$ Vereinfacht

Für Rechteck: $W_{pl} = \frac{bh^2}{4}$

BIEGEWIDERSTAND

Elastisch: $M_{el} = W_{el} \cdot f_y$ $M_{el,Rd} = \frac{W_{el} f_y}{\gamma_{M1}}$

Plastisch: Bestimme Null-Linie: $\int_A \sigma \, dA = 0$ Unterteilung in A/2

→ Eigentlich $\sum A_i f_{yi} / 2$

$M_{pl} = \int_A \sigma \, z \, dA$ $M_{pl} = \sum z_{ic} A_i f_y$

→ Flächen werden von Nulllinie unterteilt

→ Für Symmetrische QS: $M_{pl} = f_y \cdot 2S_y$

$M_{pl,Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{M1}}$

Formfaktor: $k = \frac{M_{pl}}{M_{el}} = \frac{W_{pl}}{W_{el}}$

Rechteck: $k = 1.50$

I-Profil: $k \approx 1.15$

H-Profil: $k \approx 1.10$

$k \approx 1.10$

$k \approx 1.10$

$k \approx 1.10$

$k \approx 1.10$

$k \approx 1.10$

$k \approx 1.10$

$k \approx 1.10$

$k \approx 1.10$

$k \approx 1.10$

$k \approx 1.10$

$k \approx 1.10$

$k \approx 1.10$

$k \approx 1.10$

$k \approx 1.10$

$k \approx 1.10$

$k \approx 1.10$

$k \approx 1.10$

$k \approx 1.10$

$k \approx 1.10$

$k \approx 1.10$

$k \approx 1.10$

$k \approx 1.10$

$k \approx 1.10$

$k \approx 1.10$

$k \approx 1.10$

$k \approx 1.10$

$k \approx 1.10$

$k \approx 1.10$

$k \approx 1.10$

$k \approx 1.10$

$k \approx 1.10$

$k \approx 1.10$

$k \approx 1.10$

$k \approx 1.10$

$k \approx 1.10$

$k \approx 1.10$

$k \approx 1.10$

$k \approx 1.10$

GRUNDLAGEN PROJEKTIERUNG SIA 260

ALLGEMEINES VORGEHEN

→ SIA260 Fig1 s7

NACHWEISE SIA 260 4

TRAGSICHERHEIT SIA 260 4.4.3

$$E_d \leq R_d$$

Andauernde oder vorübergehende Bemessungssituationen:

$$E_d = E\{\gamma_G G_k, \gamma_P P, \gamma_{Q1} Q_{k1}, \psi_{0i} Q_{ki}, X_d, a_d\}$$

Aussergewöhnliche Bemessungssituationen:

$$E_d = E\{G_k, P_k, A_d, \psi_{2i} Q_{ki}, X_d, a_d\}$$

GEBRUCHSTAUGLICHKEIT SIA 260 4.4.4

$$E_d \leq C_d$$

Seltene Lastfälle: $E_d = E\{G_k, P_k, Q_{k1}, \psi_{0i} Q_{ki}, X_d, a_d\}$ Häufige Lastfälle: $E_d = E\{G_k, P_k, \psi_{11} Q_{k1}, \psi_{2i} Q_{ki}, X_d, a_d\}$ Ständige Lastfälle: $E_d = E\{G_k, P_k, \psi_{2i} Q_{ki}, X_d, a_d\}$ Erdbeben: $E_d = E\{G_k, P_k, A_d, \psi_{2i} Q_{ki}, X_d, a_d\}$

BEIWERTE

• Lastbeiwerte γ : SIA 260, Tab 1, Seite 30

• Reduktion/Durchbieg.: SIA 260, Tab 2-13, Seite 33-40

• Zul. Durchbieg.: SIA 260, Tab 3-14, Seite 33-41

(Meist Funktionstüchtigkeit, duktiles Verhalten massg.)

EINWIRKUNGEN SIA 261

EIGENLASTEN

• Gebäude-Nutzlasten: SIA261 8, Tab 8, s33

RAUMLASTEN SIA 261 ANHANG A S69

• Stahl $\gamma = 78.5 \text{ kN/m}^3$ • Beton $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ • Wasser $\gamma = 10 \text{ kN/m}^3$

SCHNEE SIA 261 5.2.2, S23

$$q_k = \mu_i C_e C_T \cdot s_k \quad (9) \quad \text{meist: } q_k = 0.8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot s_k$$

$$s_k = \left[1 + \left(\frac{h_0}{350} \right)^2 \right] \cdot 0.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \geq 0.9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (10)$$

$$s_k = \left[1 + \left(\frac{h_0}{350} \right)^2 \right] \cdot 0.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \geq 0.9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (10)$$

→ Fig 2+3, Anhang D

WIND SIA 261 6, S26

- Staudruck q_p mit (11), (12) und Anhang E berechnen
- Winddrücke q_{ek}/q_{ik} mit (13), (14), Anhang C berechnen
- Lokale oder Globale Windkräfte Q_k berechnen
- $q_{p0} = 1.25 \cdot 10^{-3} \cdot v^2 / 2$ [kN/m^2]
- q etwa bei 1 kN/m^2

VERKEHR SIA 261 9-14, S32

→ siehe Norm

ERDBEBEN SIA 261 16, S59

→ siehe Norm

BEMESSUNG SIA 4

ALLGEMEINES

→ Übersicht SIA 263, 4.4, s28

TRAGWIDERSTAND SIA 4.1

$$R_d = R_k / \gamma_M \quad (1)$$

THEORIE 2. ORDNUNG SIA 4.2

→ siehe weiter hinten

ELASTISCH / PLASTISCH SIA 4.3

→ SIA Tab 5a/5b s24 (mögl. min max-Werte in Norm)

→ EER: QS für Nachweise reduzieren und Beulen nachweisen

QUERSCHNITTSWIDERSTAND SIA 5, S46FF

→ Wenn keine Stabilitätsprobleme immer verwendbar

→ NEU aufgeteilt nach QS-Klasse, hier für KI 1+2:

NORMALKRAFT SIA 5.1.2...

Bruttoquerschnitt: $N_{Rd} = \frac{f_y A_{tot}}{\gamma_{M1}} \quad (38)$

Nettoquerschnitt: $N_{Rd} = 0.9 \frac{f_u A_{net(red)}}{\gamma_{M2}} \quad (39)$

BIEGUNG SIA 45.1.3...

Reine Biegung: $M_{Rd} = \frac{f_y W}{\gamma_{M1}} \quad (40)$

QUERKRAFT SIA 5.1.4...

Reine Querkraft: $V_{Rd} = \frac{\tau_y A_v}{\gamma_{M1}} \quad (41)$

KOMBINATIONEN SIA 5.1.5... FF

→ Siehe Norm s47ff

Wenn über 50% Ausnutzung → reduziertes M_{rd} (43)

$$\frac{m_{vrd}}{N_{rd}} + \frac{m_{yrd}}{M_{yrd}} + \frac{m_{zrd}}{M_{zrd}} \leq 1.0 \quad (44)$$

Allgemein: $\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{yEd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zEd}}{M_{zRd}} \leq 1.0$ (44)→ Bei I-Profil mit M_y : (45), M_z : (46,47) oder $M_y + M_z$: (48)

int. mri (MyEd, MyRd, MzEd, MzRd, Ned, NRd, A, b, t, f)

MEHRACHSIGE BEANSPRUCHUNG SIA 4.4.6

Eben, nach Mises: $\sigma_g = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$ Somit häufig: $\tau_y = f_y / \sqrt{3}$

RAHMENSYSTEM

$$k = \frac{I_{tr}}{I_{st}} \cdot \frac{h}{l}$$

$$H = \frac{q l^2}{4h(2k+3)}$$

$$A = \frac{q l}{2}$$

$$k = \frac{I_{tr}}{I_{st}} \cdot \frac{h}{l}$$

$$H = \frac{q l^2}{4h(k+2)}$$

$$A = \frac{q l}{2}$$

$$M = \frac{1}{3} \cdot H h$$

$$k = \frac{I_{tr}}{I_{st}} \cdot \frac{h}{l}$$

$$H = \frac{q l^2}{4h(k+2)}$$

$$A = \frac{q l}{2}$$

$$M = \frac{1}{3} \cdot H h$$

$$k = \frac{I_{tr}}{I_{st}} \cdot \frac{h}{l}$$

$$H = \frac{q l^2}{4h(k+2)}$$

$$A = \frac{q l}{2}$$

$$M = \frac{1}{3} \cdot H h$$

$$k = \frac{I_{tr}}{I_{st}} \cdot \frac{h}{l}$$

$$H = \frac{q l^2}{4h(k+2)}$$

$$A = \frac{q l}{2}$$

$$M = \frac{1}{3} \cdot H h$$

$$k = \frac{I_{tr}}{I_{st}} \cdot \frac{h}{l}$$

$$H = \frac{q l^2}{4h(k+2)}$$

$$A = \frac{q l}{2}$$

$$M = \frac{1}{3} \cdot H h$$

$$k = \frac{I_{tr}}{I_{st}} \cdot \frac{h}{l}$$

$$H = \frac{q l^2}{4h(k+2)}$$

$$A = \frac{q l}{2}$$

$$M = \frac{1}{3} \cdot H h$$

$$k = \frac{I_{tr}}{I_{st}} \cdot \frac{h}{l}$$

$$H = \frac{q l^2}{4h(k+2)}$$

$$A = \frac{q l}{2}$$

$$M = \frac{1}{3} \cdot H h$$

$$k = \frac{I_{tr}}{I_{st}} \cdot \frac{h}{l}$$

$$H = \frac{q l^2}{4h(k+2)}$$

$$A = \frac{q l}{2}$$

$$M = \frac{1}{3} \cdot H h$$

$$k = \frac{I_{tr}}{I_{st}} \cdot \frac{h}{l}$$

$$H = \frac{q l^2}{4h(k+2)}$$

$$A = \frac{q l}{2}$$

$$M = \frac{1}{3} \cdot H h$$

$$k = \frac{I_{tr}}{I_{st}} \cdot \frac{h}{l}$$

$$H = \frac{q l^2}{4h(k+2)}$$

$$A = \frac{q l}{2}$$

$$M = \frac{1}{3} \cdot H h$$

$$k$$

SCHWEISSVERBINDUNGEN 6.3

SCHWEISSNÄHTE 572

Zugfestigkeit Elektrode: $f_{uE} = 510 \text{ N/mm}^2$ im Allgemeinen
 $s = \sqrt{2} a$

Typen: C5, Seite 105

NACHWEISE

DURCHGESCHWEISSTE NÄHTE 6.3.3

Kein Nachweis erforderlich, wird nicht massgebend

KEHLNÄHTE 6.3.2

Wurzelquerschnitt a massgebend (S335+):

$$F_{Ed} \leq F_{Rd} = a \Delta L \frac{0.6 f_{uE}}{Y_{M2}} \quad (87)$$

Schenkelquerschnitt s massgebend (S235):

$$F_{Ed} \leq F_{Rd} = s_{\min} \Delta L \frac{0.8 f_y}{Y_{M2}} \quad (88)$$

Pro Länge in TR: fra[a] oder frs[a] [kN/mm]

- Unabhängig von Kraftrichtung
- Werkstücke mit S235 → Schenkelquerschnitt massgebend
- Werkstücke mit S355 → Wurzelquerschnitt massgebend
- Mindestlänge = 40 mm, sonst nur konstruktiv

Nahtabmessungen C5

$a_{\max} \leq 0.7 t_{\min}$	wenn möglich	
$a_{\min} = 4 \text{ mm}$	für $t_{\max} \in [13 - 17 \text{ mm}]$	$\geq 3 \text{ mm}$
$a_{\min} = 5 \text{ mm}$	für $t_{\max} \in [18 - 25 \text{ mm}]$	$\approx \sqrt{t}$
$a_{\min} = 6 \text{ mm}$	für $t_{\max} \in [26 - \dots \text{ mm}]$	

Y-NAHT

Behandeln wie durchgeschweisst wenn gilt:

$$\sum a_i \geq t \quad \text{und} \quad c \leq \frac{t}{5}, \max 3 \text{ mm}$$

WIDERSTAND I-PROFIL MIT KEHLNNAHT

m_{rd_kehl} (dl, fy, af, as, h, b, tw, tf, r) @humbel



→ V_{Ed} Anteil an Steg anrechnen. $M_{Rd,i}$ mit Rest berechnen

DIVERSES

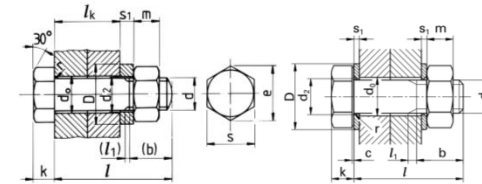
- Dokumentation: C5, Seite 102-111
- Abmessungen: C5, Seite 108, SIA 7.2
- Nachweis: C5, Seite 108 (106,107)
- Tragwiderstand: C5, Seite 110, 111, (A7, A8)
- Darstellung: C5, Seite 105

SCHRAUBVERBINDUNGEN 6.2

SCHRAUBEN 566

GEOMETRIE

- SBS: C5, Seite 86
- SHV: C5, Seite 87
- Loch-Abstände: C5, Seite 90, SIA 7.1
- Querschnittsflächen: C5, Seite 97

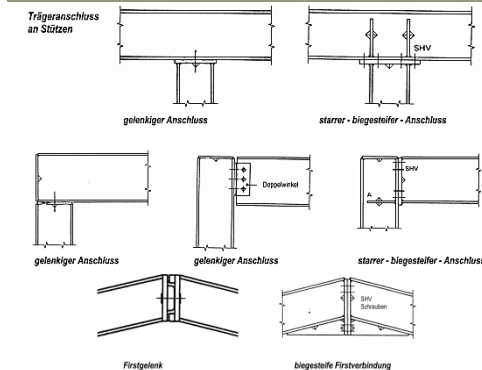


ZULÄSSIGE SPANNUNGEN SIA 3.4

Festigkeitsklasse	f_{yb}	f_{ub}	ϵ_u [%]
4.6	240	400	22
5.6	300	500	20
8.8	640	800	12
10.9	900	1000	9

fyb46, fub109, ...

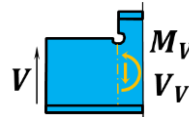
VERBINDUNGEN



NACHWEISE SIA 6.2

QUERSCHNITTSWIDERSTAND SIA 4.4

- Schnittkräfte in Bauteilen infolge der Verbindung
- Häufig geometrisch bautechnische Überlegungen



SCHERKRÄFTE SIA TAB 16, S67

Pro Scherfuge (4.6): $F_{v,Rd} = 0.6; 0.5 \cdot \frac{f_{ub} A_s}{Y_{M2}} (73,74,75)$

- Bei zweischnittigen Verbindungen → × 2
- Beachte ob Gewinde in Scherfuge
- Querschnitte Schrauben aus C5, Seite 97

LOCHLEIBUNG SIA TAB 16, S67

Für jede Schraube: $F_{b,Rd} = 0.85 \frac{e_s}{d_0} \frac{f_u}{Y_{M2}} d t (76)$

- Beachte Randbedingungen (kleine Schraubenabstände)

BERECHNUNG SCHRAUBENKRÄFTE (ELASTISCH)

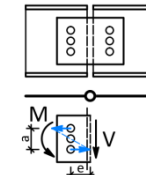
Wirksames Moment: $M_e = e \cdot V_{Ed}$ e bis Schraubenbild-SP

Einreihig:

Horizontal: $F_h = \frac{n-2.3}{n} \frac{M_e}{a} = V_{Ed} \cdot \frac{e}{a}$

Bemessung: $F_{Rd} \geq F_{v/b,Ed}$

$$F_{Ed} = \sqrt{F_h^2 + \left(\frac{V_{Ed}}{n}\right)^2}$$

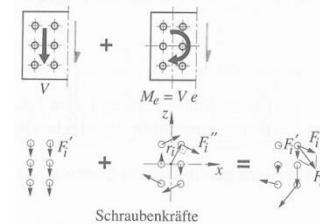


Zweireihig:

Kraftrichtung: $F_{zi} = \frac{M_e x_i}{\sum x_i^2 + z_i^2} + \frac{V}{n}$

Senkrecht Kraftrichtung: $F_{xi} = \frac{M_e z_i}{\sum x_i^2 + z_i^2}$

Bemessung: $F_{v/b,Ed} \leq \left[\frac{1}{2}\right] \times \max \left(\sqrt{F_{xi}^2 + F_{zi}^2} \right)$
 2 Scherfl.



- Steg: F_{Ed}
- Bleche: $F_{Ed}/2$
- Plastische Berechnung: Alle Schrauben gleiche Kraft auf

ZUGWIDERSTAND SIA TAB 16, S67

Widerstand: $F_{t,Rd} = 0.9 \frac{f_{ub} A_s}{Y_{M2}} (77)$

- Verwendung von SHV-Schrauben
- Bei Reibwiderstand auf Gebrauchstauglichkeitsniveau
- Bei Zug und Schub beachte Formel (78)

HEBELKRAFT SIA 6.2.2.4

→ Norm s68

QUERSCHNITTSCHWÄCHUNG SIA 6.2.4

a) Scherversagen im Nettoquerschnitt:

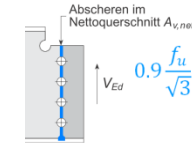
$$V_{eff,Rd} = \frac{0.9 f_u}{Y_{M2} \sqrt{3}} A_{v,net} \quad (82)$$

b) Kombiniertes Scher- und Abrissversagen:

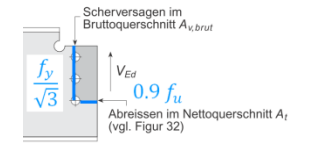
$$V_{eff,Rd} = \left(0.9 f_u A_t + \frac{f_y}{\sqrt{3}} A_{v,brut} \right) \frac{1}{Y_{M2}} \quad (83)$$

- Netto: Schraubenlöcher abziehen
- Brutto: Keine Löcher berücksichtigen → siehe Norm

Netto-QS:



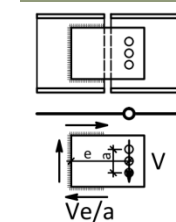
Kombiniert:



INTERAKTION

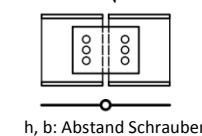
$$\left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} \right)^2 \leq 1.0 \quad (78)$$

WEITERE MODELLE



Gerberträger:

$$F_{Ed,i} = \frac{V}{2} \cdot \sqrt{1 + \frac{b^2}{h^2}}$$



h, b: Abstand Schrauben

PLASTISCHE BEMESSUNG:

→ Meist plastisch dimensionieren

→ Schrauben aufteilen für M_{Ed}/N_{Ed} und V_{Ed}

$$F_{v,Ed,i} = V_{Ed}/n$$

$$F_{M,Ed,i} = M/(n r)$$

→ Bei PP: Tragwiderstand Verbindung muss mindestens so stark sein, wie schwächstes verbundenes Teil

DIVERSES

- Kurzübersicht: C5, Seite 94-95
- Vorspannung: C5, Seite 96
- Tragwiderstand Schrauben: C5, Seite 97 (A5)
- Tragwiderstand Winkel: C5, Seite 98 (A6)

KNICKEN SIA 4.5.1 S29**1.2 ORDNUNG**

→ Standard nach 1. Ordnung mit Knickkurve

EULERSCHE KNICKLAST

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{L^2}$$

DIMENSIONIERUNG SIA 4.5.1**NUR DRUCK**

TR: **knick**(Lk, i, A, fy, Typ) Typ1-4

$$N_{Ed} \leq N_{k,Rd} = \sigma_{Kd} \cdot A = \chi_k \cdot f_y \cdot \frac{A}{\gamma_{M1}} \quad (7)$$

Bezogene Knickschlankheit:

$$\bar{\lambda}_k = \frac{\lambda_k}{\lambda_E}$$

$$\bar{\lambda}_k = \sqrt{\frac{I_y}{\sigma_{cr,k}}} \quad \sigma_{cr,k} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_k^2} = \frac{\pi^2 EI}{L_k^2 A}$$

→ Bei QS-Klasse 4: $\bar{\lambda}_k = \sqrt{A_{eff}/A} \cdot \bar{\lambda}_{k,volQS}$ SIA 4.5.1.6

Knickschlankheit:

$$\lambda_k = \frac{L_k}{i} \quad i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Fliessschlankheit:

$$\lambda_E = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

Schlankheit	S235	S335	S460
λ_E	93.9	76.4	67.1

Abminderungsfaktor:

→ χ_k aus Tabelle 7: SIA s29, C4 s24

→ Mit Voyage: **chik**($\bar{\lambda}_k$, Kurve [1-4]) (8)

Nachweis:

$$N_{Ed} \leq N_{k,Rd} \quad (7)$$

ACHSEN SIA 263, FIG7, S30

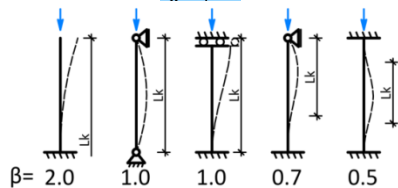
Abhängig von Geometrie:

Starke Achse: i_y , meist Kurve B (HEX400+, IPE = A)

Schwache Achse: i_z , meist Kurve C (HEX400+, IPE = B)

KNICKLÄNGEN

$$L_K = \beta \cdot L$$



Ersatzsysteme/Rahmen:

→ C4 s20, Mit System und Lagerungsart: $\rho = \eta \cdot \left[\frac{b \cdot I_s}{L \cdot I_k} \right] \rightarrow \beta$

→ Petersen Diagramme oder Wendehorst

VERWEISE

- Vorgehen nach C4, s17ff, SIA 4.4 s28
- $\bar{\lambda}_k \rightarrow \chi_k$ C4 s22, SIA 4.4 s28
- $\lambda_k \rightarrow \sigma_{Kd} \rightarrow$ C4 s25
- $N_{k,Rd}$ in C4

KNICKEN VON SYSTEMEN

→ Siehe ZF weiter hinten

KIPPEN SIA 4.5.2 S31**VORGEHEN**

• → Massgebend für Kipplängen gemäss Tab 6 s25

• → M_{cr} nach **Anhang B s82**

$$M_{D,Rd} = \chi_D \cdot \frac{W_{fy}}{\gamma_{M1}} \quad (9)$$

• → W je nachdem welche Querschnittsklasse

$$\bar{\lambda}_D = \sqrt{\frac{W_{fy}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr,D}}} \cdot \sqrt{\frac{W}{W_{el}}}$$

$$\chi_D = f(\bar{\lambda}_D)$$

• → Verwende **chik**($\bar{\lambda}_D$, [1,3]) wie Knicken

→ Einsetzen in jeweilige Formel (49,50), (51) bei I-Profilen

kipg(LD, Wely, W, Iz, K, fy, MEDmin, MEDmax)

→ Profilart, iD (Näherung mit A, Aw)

→ MEDmin=MEDmax=1 für psi=1

[mm, N/mm2, kNm] - @thumbel

DRUCK UND BIEGUNG SIA 5

→ siehe SIA und **Übersicht s28!**

VORGEHEN

• Klassierung Querschnitt Tab5

• Kippen Nachweisen? Tab6

• Knicknachweis SIA 4.5.1

• Stabilitätsnachweis

• Festigkeitsnachweis

• (Beulen auf Druck/Schub) SIA 4.5.3, 4.5.4

STABILITÄT:

(Gilt für QS-Kl1+2, sonst siehe Norm)

Alle QS	H, □
$M_2 = 0$ (49)	$M_2 = 0$ (49) ξ
Knick ₂ verhindert	Knick ₂ verhindert
	Kippen nicht nachw.
Sonst (50)	Sonst (51)

Knicken verhindert $\Rightarrow \bar{\lambda}_{z,k} \leq 0.5$ UND $N_{Ed} \leq N_{k,z}/\gamma_{M1}$

Kippen nicht nachw $\Rightarrow L_D < L_{cr}$ nach Tab6

FESTIGKEIT

(Gilt für QS-Kl1+2, sonst siehe Norm)

Alle QS	H, □
Immer (44)	Immer (48)
	(Konservativ) (44)

Festigk.nachw. bereits erbracht wenn Stabilität i.O. mit $\omega = 1.0$

BEULEN SIA 4.5.3/4 S31**DRUCKSPANNUNGEN**

SIA 263 4.5.3, S31

! Neue Norm ein riesen Scheiss !!!

→ Für QS nach Typ4 – EER nach Tab5

→ Lagerung allgemein konservativ annehmen

$$b_{eff} = \rho \cdot b_c$$

NÄHERUNGSWEISE, REGEL SIA 4.5.3...

→ Näherung mit $\rho = 0.9/\bar{\lambda}_p$

→ b_{eff} direkt aus Tab10, b bezieht sich auf Scheibenachsen

→ Falls Fall nicht vorhanden:

1) k aus Tab9 berechnen

2) $\bar{\lambda}_p$ mit 4.5.3.3 berechnen

3) $\rho = 0.9/\bar{\lambda}_p$ (Näherung)

4) $b_{eff} = \rho \cdot b_c$

GENAUE BERECHNUNG SIA 4.5.3...

→ Genaue Berechnung von ρ

Vorgehen wie oben. Formel dazu unter 5.6.4.3, s59

(Kastenträger) wo sie eigentlich nichts zu suchen hat, da Formel allgemein gültig ist!!! (siehe auch EC 3)

beuldr(b , t , ε_y , k , ψ)

→ Zwingend für Kastenträger

EFFEKTIVE WIDERSTÄNDE

→ Neuen QS aufzeichnen

→ Schwerpunkt und Trägheitsmoment bestimmen

(Autocad mit MASSEIG auf Region [REGION, VEREINIG])

oder mit **iym**() auf TR (siehe Blechträger)

$$\rightarrow M_{Rd} = \frac{f_y W_{eff}}{\gamma_{M1}} = \frac{f_y I_{eff}}{z_{max} \gamma_{M1}}$$

SCHUBSPANNUNGEN SIA 263 4.5.4, S34

→ Siehe zuerst Formel (42), s47

→ Siehe Norm, straightforward

beulsb(a , b , t , ε_y) auch für 5.4.2, $b = h - t_f$

BLECHTRÄGER SIA 5.6

→ Vereinfachtes strukturiertes vorgehen

I-TRÄGER SIA 5.6.1.1, S57

→ Siehe Fig 19, s51

Flächenträgheitsmoment, Schwerpunkt:

iym() @bremen

Abstand ist der Abstand zum Schwerpunkt.

Bei 1 können weitere Rechtecke eingegeben werden.

Approx starten, damit keine Brüche ausgegeben werden.

ODER

iym($a1, h1, b1, \dots, a6, h6, b6$) @humbel

a_i ist jeweils der Abstand zum Rechteck

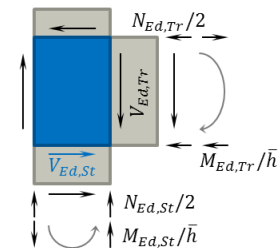
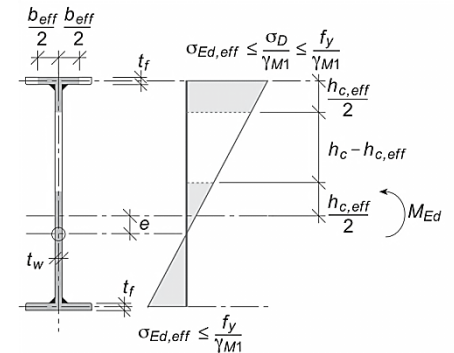
	A_i	z_i	$A_i z_i [mm^3]$	$A_i (z_i - z_s)$	$I_{oi} [mm^4]$
i					
Σ					

SPEZIALFÄLLE SIA 5.4.5**KASTENQUERSCHNITT SIA 5.4.5.3**

Beulen Druckspannung mit genauer Formel

VORGEHEN

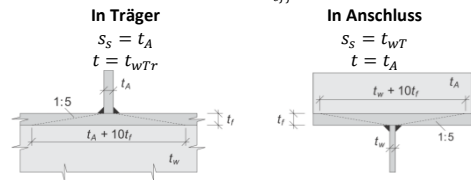
- Kehlnähte überprüfen
- QS Klasse bestimmen (Tab5)
- Überall bei EER $\rightarrow b_{eff}$ berechnen
 - Normal mit Tab9 oder 5.6.1.1, s57
 - Kastenträger genau mit 4.5.3 **beuldr**()
- Neuen QS zeichnen (Skizze)
- Neue Kennwerte $\rightarrow$ **iym**()
- Momente: $M_{Rd,eff} \geq M_{Ed}$
- Querkraft: (42) und Schub mit **beulsb**()
- Interaktion (61)
- Evtl Übertragung Schubfelder auf Kehlnaht
- Fortgeschritten mit 5.6...



KRAFTEINLEITUNG SIA 4.6, S34**RIPPENLOS SIA 4.6.1**Rahmen: $Z, D_{Ed} = M_{Ed}/(h - t_f) \pm N_{Ed}/2$ in Flanschnitte**FESTIGKEIT SIA 4.6.2**Kraftausbreitung in Platten: 1:1
Flansch: 1:5

Nachweis:

$$F_{Ed} \leq F_{Rd} = \left(s_s + 10 t_f \right) t \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \leq l_{eff}!$$

**QUERKRAFT**

→ Rahmenknoten

STABILITÄT SIA 4.6.3

→ Unterscheiden zwischen einseitig, zweiseitig

→ Wenn Krafteinleitung in Randbereich ($< \frac{h-t_f}{2}$) F_{Rd} halbieren und linear interpolieren

Stabilität:

kestab ($h, b, t_w, t_f, s_s, f_y, \sigma$)

ss Breite der Krafteinleitung zB tf von angreifendem Träger

$$\sigma_x = \frac{M_{Ed} \cdot 10^6 \cdot h_z}{2 I_y} \pm \frac{N_{Ed} \cdot 1000}{A} \quad [\text{kNm, kN, mm}]$$

RIPPEN/AUSSTEIFUNGEN SIA 4.6.5, S36→ Durchgehende Rippen einfügen $t \approx t_w$ → Beulen: Schlankheit nach Tab5, max EE $\rightarrow \frac{b}{t} \leq 14\epsilon$ → Knicken: Ausschnitt mit Steg und Blechen als Stütze betrachten; $L_k \approx 0.75(h - t_w)$, $N_{Ed} = F_{Einleit}$ **RAHMENKNOTEN SIA 6.6, S75**

→ Prinzipiell mit SKD in Schubfeld (nicht mit s70)

BIEGEWIDERSTAND

→ SIA 6.6.2.3, s76

SCHUBWIDERSTAND

$$\rightarrow V_{Ed,Kn} \approx \frac{M_{Ed,Tr}}{0.9(h-t_f)} - \frac{N_{Ed,Tr}}{2} \geq V_{Rd} \text{ (HORIZONTAL)} \quad (89)$$

→ 0.9 da Druck-QS etwas in Steg (sonst auch weglassen)

WEITERE NACHWEISE

- Kehlnähte
- Verbundmittel
- Krafteinleitung
- Aussteifungen (Rippen, Bleche... ($t_{min} = 6\text{mm}$))

DIVERSESStirnplatte: $d_p > 1.5 \cdot d$ C9Rippen? $t_{w,St} > 1.0 \cdot d$ → keine Rippen notwendig C9

Wenn Tragwiderstand nicht ok → Voutenträger

BRANDSCHUTZ SIA 4.8, S40, SZS**ÜBERSICHT**

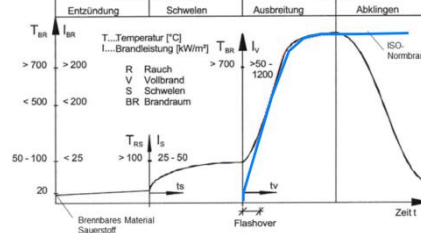
SIA 263 Bemessungssituation Brand 4.8

Steelcod Brandschutz im Stahlbau SZS steeldoc 02/06

ALLGEMEINES

Einflussgrößen: Brandlast, Ventilationsbed., Brandraum, Brandbekämp.

Phasen:



Normbrandkurve meist nach ISO 843 (Eurocode)

Feuerwiderstand: R (Tragwiderst.), E (Dichtigkeit), I (Isolation)

Möglichkeiten: Kühlen, Isolieren, Verbund

Schutzziele: Sicherheit (Personen + Sachen) Entstehung vorbeugen, Ausbreitung begrenzen, Tragsicherheit über Zeit gewährleisten, Feuerwehr

BEMESSUNG

$$E_{d,fi} \leq R_{d,fi,0} \quad \text{SIA 263, 4.8}$$

$$E_{d,fi} = \{G_k, P_k, A_d, \psi_{2i} Q_{ki}, X_d, a_d\} \quad \text{SIA 260 (17)}$$

$$R_{d,fi,0} = f \left(\frac{k_y \theta}{\gamma_{M,fi}} \right) \quad \gamma_{M,fi} = 1.0 \quad \text{Kat A,B } \psi_{2i} = 0.3$$

- κ :
- 1.0 Allseitig Feuer ausgesetzt
 - 0.7 Dreiseitig Feuer ausgesetzt (oben Beton)
 - 0.85 Durchlaufträger mit Wärmesenke
 - 1.2 Stabilitätsprobleme

(Knicken: $\lambda_k \times 1.2$, Knippen ggf. untersuchen 4.8.5.8)

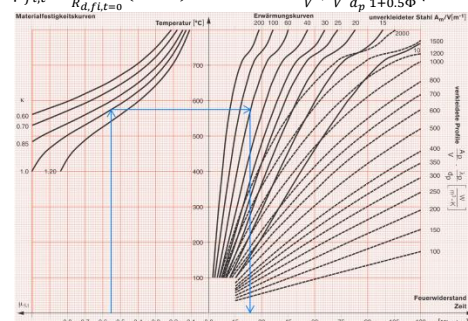
Feuerwiderstand nach (→ R30 zB):

VORGEHEN

- 1) Berechnung Stahltemperatur in Funktion Temperaturverlauf und Profilfaktor U/A)
- 2) Berechnung Festigkeit (resp Reduktionsfaktor)
- 3) Berechnung Widerstand
- 4) Kontrolle Stabilität
- 5) Berechnung Einwirkung
- 6) Nachweis

Feuerwiderstand vereinfacht mit Nomogramm:

$$\mu_{fi,t} = \frac{E_{d,fi}}{R_{d,fi,t=0}} (\leq 0.65) \quad \text{Profilfaktor: } \frac{A_m}{V} \cdot \frac{A_p}{V} \cdot \frac{1}{1+0.5\Phi} \quad (\text{Tabellen})$$

 $R_{d,fi,t=0} = M_{R,k}$ ohne Beiwerte, Verbund siehe „Bem. Stütze“**KRANBAHNEN****ÜBERSICHT**SIA 261/1 Einwirkungen, w_{zul} , (Beiblatt alter ANHANG F)

SIA 263 Krafteinleitung, Ermüdung, Kerbgruppen

SIA 263/1 Materialien, Toleranzen, Kontrollen

C4 Einflusslinien, Einwirkungen

EC 3-6 Kranbahnen

EINWIRKUNGEN SIA 261/1**EINWIRKUNGEN**Kranlasten: $Q_{k,max} = \Phi \cdot Q_{k,max}^*$ Figur 8, s23 [2x]

$$(\text{pro Rad}) \quad \Phi = 1 + \xi \frac{Q_{nom}}{\sum Q_{k,max}} \leftarrow \text{Summe auf einer Seite}$$

Horizontal: $Q_{k,T} = \lambda \cdot Q_{k,max}$ Figur 7, s22 [2x]

$$Q_{k,L} = 0.2 \cdot Q_{k,max} \quad [1x]$$

SNITTKRÄFTE

$$M_{yEd} = 1.35 \cdot M_y(G) + 1.5 \cdot M_y(Q_{k,max})$$

$$M_{zEd} = 1.5 \cdot M_z(Q_{k,T})$$

$$N_{Ed} = 1.5 \cdot Q_{k,L}$$

$$\Delta M_k = M_{max} \left(1 - \frac{M_{min}}{M_{max}} \right) \quad (\text{inkl } \Phi)$$

→ C4, s145ff, Anpassen falls $I_{End} \neq 1.3 I_m$ **QUERSCHNITTSBETRACHTUNG**

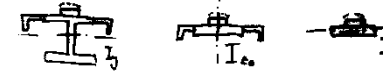
Y-Achse: Alles betrachten

Z-Achse: Nur Oberflansch, KSN (-10mm) und LNPs

(VL: 0.5, resp 0.66 lz für Träger)

Krafteinleitung: Nur Oberflansch und KSN (-10mm)

→ Trägheitsmomente von IPE+KSN direkt aus C5



(bei UPE auch mit Flanschen)

SPANNUNGSNACHWEISE

Über Einwirkungsgruppen

$$\text{EG1: } \sigma_{o,Ed} = \frac{N_{Ed}}{A_{tot}} + \frac{M_{yEd}}{I_y} z_o + 0.6 \frac{M_{zEd}}{I_{zo}} y_{max}$$

$$\sigma_{u,Ed} = \frac{N_{Ed}}{A_{tot}} + \frac{M_{yEd}}{I_y} z_u$$

$$\text{EG2: } \sigma_{o,Ed} = 0.6 \frac{N_{Ed}}{A_{tot}} + \frac{M_{yEd}}{I_y} z_o + \frac{M_{zEd}}{I_{zo}} y_{max}$$

$$\sigma_{u,Ed} = 0.6 \frac{N_{Ed}}{A_{tot}} + \frac{M_{yEd}}{I_y} z_u$$

(Hor. Lasten gleichzeitig mit Kranlasten)

Bei Ermüdung können Seitenkräfte in der Regel vernachlässigt werden.

(Anmerkung EC 3-6) $\rightarrow \Delta \sigma = f(M_y)$ **FESTIGKEIT**

$$\text{Auf D-Niveau, EE/EER: } \sigma_{i,Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

Kritische Stellen:

**KRAFTEINLEITUNG SIA 263 5.8 / 4.6**Auf Kranbahnschiene: $F_{Ed} = 1.5 Q_{k,max}$ (mit Φ)

$$F_{Rd} = \frac{f_y L t_w}{\gamma_{M1}} \quad L = 3.2 \sqrt{I_k / t_w} \approx 2 h_{KSN} + 50 \text{ mm}$$

Tabelliert in C5, Gegebenfalls Stabilität nach 4.6 testen.

Von Auflager: $F_{Ed} = 1.5 \cdot R_i \text{ (C4)}$ $F_{Rd} = \dots$ siehe Krafteinleitung ZF s4

- Festigkeit
- Stabilität

ERMÜDUNGSNACHWEISE SIA 4.7, S36Kerbgruppen $\Delta \sigma_c$: → SIA 263, ANHANG E

Kritische Fälle:

-KSN-Träger (Kehlnaht) $\Delta \sigma_c = 125 \text{ N/mm}^2$ -LNP-Träger (K-Naht) $\Delta \sigma_c = 112/125$ -Träger unten $\Delta \sigma_c = 160/125$ -Krafteinleitung $\Delta \sigma_c = 125/71$

Betriebslastfaktoren: → SIA 261 (resp Beiblatt ANHANG F)

$$\lambda = \lambda_1 \lambda_3 \lambda_4 \leq \lambda_{max} \quad \text{meist: } \lambda_3 = \lambda_4 = 1$$

**NACHWEISE**Auf K-Niveau, mit Φ , ΔM aus C4, s145 ff (meist k. hor. Kräfte)

$$\text{Berechnung} \quad \Delta \sigma(Q_{fat}) = \frac{\Delta M_k}{I_y} \cdot z_i$$

$$\Delta \sigma(Q_{fat}) = \frac{Q_{k,max}}{L t_w} \quad (\text{KE})$$

$$\text{Dauerfestigkeit: } \Delta \sigma(Q_{fat}) \leq \frac{\Delta \sigma_B}{\gamma_{Mf}} = \frac{0.74 \Delta \sigma_c}{\gamma_{Mf}} \quad \text{kons.}$$

$$\text{Betriebslastfaktor: } \Delta \sigma_{E2} = \lambda \Delta \sigma(Q_{fat}) \leq \frac{\Delta \sigma_c}{\gamma_{Mf}}$$

$$\text{Schadensakkumulation: } \Delta \sigma_{E2} \leq \frac{\Delta \sigma_c}{\gamma_{Mf}} \quad \text{kompl.}$$

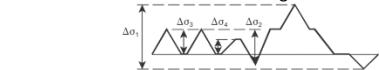
→ γ_{Mf} SIA 263, Seite 96**SCHADENSAKKUMULATION**

Lastzählverfahren/Reservoirmethode (Methode c) EC3-1-9)

$$\Delta \sigma_{E2} = \left(\frac{1}{2 \cdot 10^6} \sum_{i=1}^N \Delta \sigma_i^3 \right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{N}{2 \cdot 10^6} (\Delta \sigma_1^3 + \Delta \sigma_2^3 + \dots + \Delta \sigma_N^3) \right)^{\frac{1}{3}}$$

→ Zyklus verschieben bis höchster Punkt zu Beginn. Dann

Wasser zuunterst rauslassen und grösste Differenzen suchen.



Vorsicht Abgrenzung! Zyklus zB hin UND zurück, N=Anzahl Zyklen

Restlebensdauer (Palmgren-Miner-Regel):

$$T_{rest} = \frac{1 - D_{tot}}{D_{tot}} \cdot T_0 \quad T_0: \text{Anzahl vergangener Jahre}$$

$$D_{tot} = \sum \frac{n_i}{N_i} \leq 1.0 \quad N_i = \frac{\Delta \sigma_i^2 \cdot 2 \cdot 10^6}{\Delta \sigma_c^2}, \quad n_i \text{ Anzahl Lastwechsel}$$

DURCHBIEGUNGEN

$$\text{Vertikal: } w_{max} = \frac{L}{700} \leq \frac{\xi Q_{k,max} l^3}{E I_y \Phi} \quad \text{ohne } \Phi$$

$$\text{Horizontal: } u_{max} = \frac{L}{800} \leq \frac{\xi Q_{k,T} l^3}{E I_{zo}} \quad \text{mit } \Phi$$

→ ξ aus C4

SIA 263, 4.10.3.6: Bei langsam befahrenem Endfeld sind grössere Durchbiegungen meist unbedenklich.

Maximale Stützensauslenkung: $L/300$

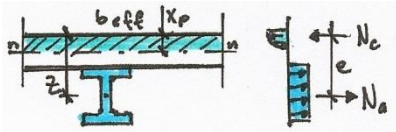
Max Differenz dieser Auslenkung: 20 mm

KONSTRUKTIVES

- Kranbahnträger muss nach Einbau ausgerichtet werden können → Futterbleche und Langlöcher
- Bei hohen Trägern muss Oberflansch gestützt werden.
- Sicherheitsabstände um Krane müssen eingehalten werden. → SUVA Vorschriften
- Zur Stabilität der Halle sind ggf hor. Kranverbände (Lasten längs) oder längsvert. Kranbahnverband/Rahmen (Lasten quer) nötig

VERBUNDBAU**SIA 264 / EC3**

Stahl in Kombination mit Beton

VERBUNDTRÄGER**SIA 264 5.1, S24**a: Stahl $\gamma_a = 1.05$ c: Beton $\gamma_c = 1.50$ s: B500B $\gamma_s = 1.15$ Träger: g_{Tr} Beton: g_B Schalung und Arbeiter: $q_{SA} = 1 \text{ kN/m}^2$ **BAUZUSTAND (LAST AUF TRÄGER)**

- Leiteinwirkung Betonieren: $q_d = \gamma_G g_{Tr} + \gamma_{Q1} (g_B + q_{SA}) \cdot a$
 - Schnittkräfte bestimmen
 - Profil wählen mit C5, Widerstände M_{Rd}, V_{Rd} von Träger, g_{Tr} ?
- meist Massgebend wenn Nutzlast nicht sehr gross

ENDZUSTAND

- Leiteinwirkung meist NL: $q_d = \gamma_G (g_{Tr} + g_B + g_{AL}) + \gamma_{Q1} q_{NL}$
- Schnittkräfte bestimmen
- Tragsicherheit:
 - Mitwirkende Breite nach SIA 262 4.1.3.3, s40 oder: $b_{eff} \approx l/4$, sehr stabil für x_p → kleiner konserv. Fehler
 - $N_{c,Rd} = \frac{N_{a,Rd}}{\gamma_{M1}} = f_y A_a / \gamma_{M1}$ (b, b_w, l_0)
 - $x_p = \frac{N_{a,Rd}}{0.85 \cdot f_{cd} \cdot b_{eff}} \leq h_c \rightarrow$ Sonst Neutralachse in Träger!
 - $e = z - \frac{x_p}{2} = h_c + \frac{h}{2} - \frac{x_p}{2}$
 - $M_{pl,Rd,V} = e \cdot N_{a,Rd}$
 - $V_{Rd} = V_{Rd,Träger}$ (evtl Formel 42 + 50% V_{Rd} prüfen)

→ Wenn Neutralachse in Träger... pain in the ass...

→ 2 Neutrale Achsen → Betondruck = $\sum P_{Rd}$

Betondruckkraft mit Kraft in Steg gleichsetzen.

Rest des Profils kann gegenläufige Kraft aufnehmen

→ $2x F \cdot a = M_{V,Rd}$ **VOLLVERDÜBELUNG****SIA 264 6.1, S40**

Kopfbolzendübel: Widerstand P_{Rd} ist min aus Betonstauchung und Abscheren des Dübel (29), (30) → Direkt aus **C5, s81** ablesen. → weitere Rahmenbedingungen!

Anzahl Dübel **pro Scherbereich**: $N_f = \frac{N_{a,Rd}}{P_{Rd}}$ (zw. $M_{=0}; M_{pl,Rd}$)

→ Einfacher Balken je links u. rechts n_f Dübel. Auf Teilung achten Bei Asymmetrischen Querschnitten/starren Dübeln Verteilung Dübel besser nach Schubfluss $v = V \cdot S_v / I_p$.

Bei Fachwerken muss bei Einleitstelle volle Längskraft eingeleitet werden.

TEILVERBUND**NÄHERUNG**

- M_{Ed} eruieren → Wahl eines $M_{Rd,TV}$ für Teilverbund (grösser)
- $\frac{N}{N_f} = \frac{M_{Rd,TV} - M_{Rd,pl}}{M_{Rd,pl}}$ $M_{Rd,pl}$ Widerstand Träger allein (C5)
- Mindestanforderungen nach SIA 264 6.1.1.6, s40
- $\frac{N}{N_f} \geq 1 - \frac{355}{f_y} \cdot (0.75 - 0.03 \cdot l_e) \geq 0.4$ für $l_e \leq 25m$ (28)

Teilverbund genau $\sum P_{Rd}$ mit n berechnen

$$M_{pl,Rd,TV} = \sum P_{Rd} \left(h_c + \frac{h}{2} - \frac{\sum P_{Rd}}{1.7 b_{eff} f_{cd}} \right) + M_{y,a,Rd} \xi \left(1 - \frac{\sum P_{Rd}}{N_{a,Rd}} \right)$$

FÜR DURCHLAUFTRÄGER**NEU****Erstes Fließgelenk über Stütze:**

Umlagerung der Schnittkräfte zulässig → SIA 264 s19

(1. Zeile, da SK mit $El = \infty$ gerechnet, also ungerissen)

Stützenmoment red., und neues Feldmoment berechnen

Erstes Fließgelenk im Feld (selten):

Druckzonenhöhe beschränken (Nulllinie im Stahl unerwünscht)

EP: $n-n < h/6$ PP: $n-n < h/9$ **BEMESSUNG STÜTZE MIT ARMIERUNG**

- Mitwirkende Breite bestimmen → Anzahl Eisen bekannt
- Zugwiderstand $F_{s,Rd}$ bestimmen
- Biegezugwiderstand mit:
 - $M_{pl,Rd} = F_{s,Rd} (z - d') + M_{y,NRd}$
 - $M_{y,NRd} = M_{y,Rd} \xi \left(1 - \frac{F_{s,Rd}}{N_{Rd}} \right) \quad \xi \rightarrow C5$
 - Sofern: QS-Klasse mind 2, Bewehrung duktil (Mindestbewehrung) und kein Kippen (SIA 264, s25)

VERDÜBELUNG

→ sieh Auch ZF weiter oben

Feldbereich: Berechnete Dübelanzahl von M_{max} bis $M = 0$ Stützenbereich: $P_{red,Rd} = 1.0 P_{Rd}$ von $M = 0$ bis M_{max}

(Red auf 75% wegen ungünstiger Rissbildung nur bei Brücken und NUR Formel 29!!!)

GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT**Vollverbund:**

Einschränkung nach Tab3 SIA260

Funktionstüchtigkeit:

$$w = w_g + w_A + \psi_{11} w_N + w_S - w_0 \leq L/350$$

Komfort:

$$w = \psi_{11} w_{N,ver} \leq L/350$$

Aussehen:

$$w = w_g + w_A + \psi_{21} w_{N,stand} + w_S - w_0 \leq L/300$$

$$w = \frac{5}{384} \frac{q_k L^4}{EI} \quad (\text{Einfacher Balken})$$

$$w_g = f(g_k, \text{Beton+Stahl}, EI_a)$$

$$w_A = f(g_{k,A}, EI_{V,lang})$$

$$w_N = f(q_{k,N}, EI_{V,kurz})$$

$$w_S = \frac{1}{2} \frac{M_S M_I}{E I_{VS}} \quad M_S = a_c N_S = a_c \cdot \epsilon_{cs} \cdot \frac{E_a}{12} A_c$$

$$= \frac{l^2 A_c a_c E_a \epsilon_{cs}}{96 E I_{VS}} \approx 4.4 \cdot 10^{-10} \cdot l^2 A_c a_c / E I_{VS} \quad |\epsilon_{cs} = 2 \cdot 10^{-4}|$$

$$[\text{mm}, \text{kNm}^2]$$

Biegesteifigkeiten El_x und a_x mit n-Verfahren: eiv (Ia, Aa, ha, hc, beff) [mm] @humbel

$$El_a = El_{Träger} (C5)$$

$$El_{V,lang} = \left(I_a + a_a^2 A_a + \frac{I_c}{n} + a_c^2 \frac{A_c}{n} \right) E_a \quad n = 18$$

$$El_{V,kurz} = \left(I_a + a_a^2 A_a + \frac{I_c}{n} + a_c^2 \frac{A_c}{n} \right) E_a \quad n = 6$$

$$El_{V,S} = \left(I_a + a_a^2 A_a + \frac{I_c}{n} + a_c^2 \frac{A_c}{n} \right) E_a \quad n = 12$$

$$a = \frac{h_a + h_c}{2} \quad a_a = \frac{a \cdot A_c / n}{A_a + A_c / n} \quad a_c = \frac{a \cdot A_a}{A_a + A_c / n}$$

Teilverbund nicht vernachlässigbar für $\frac{n}{n_f} \in [0.4; 0.5]$ SIA 5.1.3.4

$$\text{Dann: } \frac{\delta}{\delta_f} = 1 + \alpha \left(1 - \frac{n}{n_f} \right) \left(\frac{\delta_a}{\delta_f} - 1 \right)$$

→ Beiwert der neuen (grösseren) Durchbiegung

→ $\alpha: 0.3$ für nicht unterstützt, 0.5 für unterstützt bei Betonieren**BETONPLATTEN VON VERBUNDTRÄGERN**

→ Nachweise in Platten bei Verbundträger/Decken

LÄNGSSCHUB**SIA 264 5.1.4, S26**

$$N_{sEd} = v_{sEd} \cdot \frac{b_{eff} \cdot b_w}{2 b_{eff}} \cdot \tan \alpha_f \rightarrow A_s \quad [kN/m'] \quad (\text{nur für Schub})$$

$$v_{sEd} = \frac{N_{a,pl,Rd}}{l/2} \quad v'_{sEd} = v_{sEd} - v_{pd}$$

Betondruckdiagonale überprüfen $v_{sEd} \leq v_{Rd}$

→ Eisen unten einlegen, Eisen oben übernehmen Biegemoment

→ **Blechverbund** in SIA 5.4, resp 5.4.3.5**QUERKRAFT****SIA 262 4.3.3.2**

→ Betrachtung an 1m-Streifen (v.A. für Platten)

$$v_{Rd} = k_d \tau_{cd} d \quad k_d = \frac{1}{1 + k_p d [m]} \quad k_p = 3 \text{ für pl.}$$

→ **Blechverbund**, analog mit SIA 264, 5.3.3, s36**PROFILBLECHE****NEU**

Nach EC 3-1-5:

$$\gamma_{M0} = \gamma_{M1} = 1.0$$

ALLGEMEINES VORGEHEN

→ Druckbereich prüfen → QS red mit beff/sicke(), neue n-n

- Steg prüfen (Druckbereich) → QS reduzieren, neue n-n

- Mrd berechnen $M_{rd} = \frac{l_{redred}}{z_{max}} \cdot \frac{f_{yb}}{\gamma_{M1}}$ **BLECH BIEGEWIDERSTAND (6.1.4)****EC 3-1-3**

i) Ausrundung Prüfen

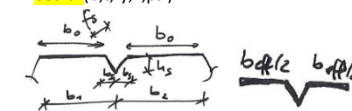
ii) Eignung Prüfen

iii) Bemessung Trapezprofil mit 5.5.3.3 (eigentlich mit 5.5.3.4 da es sich um Profilblech handelt, dann keine Iteration nötig, 5.5.3.3 allgemein für Bleche mit Sicke!)

1) $b_{eff} = p b_0$

$$k = 4, \psi = 1.0 \quad (\text{wie SIA } \rho_{genau})$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{b_0/t}{28.4 \sqrt{k}} \quad \rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0.55(3+\psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1.0 \quad \epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yb}}}$$

beuldr(b,t,fy,k,psi)

2) Betrachtung Mittleres Teil mit Sicke:

$$\sigma_{cr,s} = \frac{2 \sqrt{k E I_s}}{A_s} \quad A_s = t \cdot (b_{eff,i} + 2 f_s)$$

$$K = \frac{u}{\delta} = \frac{1}{\delta} \quad \delta = \frac{b_1^2 b_2^2}{3(b_1 + b_2)} \cdot \frac{12(1 - \nu^2)}{E t^3} \quad !b_1, b_2$$

$$z_s = h_s \bar{t} / A_s \quad I_s = \dots \quad \text{ym}() \text{ oder:}$$

$$I_s = \frac{b_{eff,i} l^3 + 2 h_s^3 \bar{t}}{12} + b_{eff,i} t z_s^2 + 2 h_s \bar{t} \left(\frac{h_s}{2} - z_s \right)^2$$

(Schräge Teile können vertikal aber dicker betrachtet werden)

$$\bar{\lambda}_d = \sqrt{\frac{f_{yb}}{\sigma_{cr}}}$$

$$\chi_d = \begin{cases} 1 & \bar{\lambda}_d \leq 0.65 \\ 1.47 - 0.729 \bar{\lambda}_d & \text{REST} \end{cases}$$

$$\sigma_{Ks} = \chi_d f_{yb} / \gamma_{M0} \quad (\text{Spannung auf Sicke})$$

$$\bar{\lambda}_{p,neu} = \sqrt{\chi_{i-1}} \cdot \bar{\lambda}_{p,startwert} \rightarrow \rho_{neu} \rightarrow b_{eff,i} \rightarrow 2)$$

3) nach n Iterationen (Laut EC n=2 i.O.)

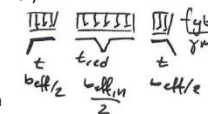
Dicke Mittelteil Sicke reduzieren,

damit mit „voller“ Fließspannung

gerechnet werden kann:

$$t_{red} = \sigma_{Ks} / f_{yb} \cdot t = \chi_{d,n} \cdot t$$

Neuen Schwerpunkt berechnen

→ $(z_s, I_s, \dots)$ **ym()**

4) Beuluntersuchung Steg → Tab5 SIA 263

 $\psi = -\frac{z_x}{z_d} \rightarrow$ EE Verfahren (Zug mit Biegung zB)

$$\frac{b}{t} = \frac{l_s}{t} \leq b/t_{tab5} \quad (\text{Schrägdistanz einsetzen})$$

Wenn nicht i.O → Steg abmildern (1 Iteration, neue n-n)

 $\rho \cdot b_c = b_{eff} \rightarrow$ Neue QS-Werte

5) Mrd berechnen (jetzt EE)

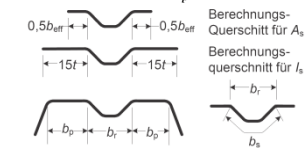
$$I_s = \dots \quad M_{Rd} = \frac{I_s}{z_{max}} \cdot \frac{f_{yb}}{\gamma_{M0}} \quad (\text{pro Abschnitt})$$

→ **sicke()** @tuerian input: $\psi, b_0, t, b_s, h_s, f_{yd}, \dots E, b_{1,2}, v$

NACH EC 5.5.3.4 keine Iteration nötig → Ersetze Punkt 2) mit:

$$\sigma_{cr,s} = \frac{4.2 k_w E}{A_s} \sqrt{\frac{I_s t^3}{4 b_p^2 (2 b_p + 3 b_s)}} \quad k_w = 1.0$$

$$b_p = \max[b_p; 0.25(3 b_p + b_s)]$$

Dann weiter mit $\bar{\lambda}_p = \dots$ 

(Soll man nicht verwenden an Prüfung ;))

SCHUBTRAGFÄHIGKEIT (6.1.5)**EC 3-1-3**

$$V_{b,Rd} = \frac{h_w}{\sin \phi} \frac{t f_{bv}}{\gamma_{M0}}$$

$$\bar{\lambda}_w = 0.346 \frac{S_w}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}}$$

$$f_{bv} = \begin{cases} 0.58 f_{yb} & \bar{\lambda}_w \leq 0.83 \\ 0.48 f_{yb} / \bar{\lambda}_w & \text{REST} \\ 0.67 f_{yb} / \bar{\lambda}_w^2 & \bar{\lambda}_w \geq 1.40 \end{cases}$$

KRAFTEINLEITUNG (6.1.8)**EC 3-1-3**

$$R_{w,Rd} = \alpha t^2 \sqrt{f_{yb} E} \left(1 - 0.1 \sqrt{\frac{f_c}{f_y}} \right) \left[0.5 + \sqrt{0.02 l_d / t} \right] \left(2.4 + \left(\frac{\phi}{90} \right)^2 \right) / \gamma_{M1}$$

r innerer Biegeradius. R_w wirkt unter jedem Steg.Kat 1: Endauflager, $\alpha = 0.075$ Kat 2: Zwischenaufkl, $\alpha = 0.15$

$$\beta_V = \frac{\Delta V_{ed}}{R_{auflager}}$$

$$l_s = \begin{cases} 200 \text{ mm} (= s_s) & \beta_V \leq 0.2 \\ \text{Interp}_{lin} & \text{REST} \\ 10 \text{ mm} & \beta_V \geq 0.3 \end{cases}$$

INTERAKTIONSNACHWEIS M+V

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} + \frac{V_{Ed}}{R_{w,Rd}} \leq 1.25$$

BLECHVERBUNDDECKEN**NEU**

- Sicke und Beulen vernachlässigen (durch Beton gestützt)
 → Verfahren EP, Umlagerung max 30% bei Stützen

biegewiderstand

$$A_p = t(b_{oben} + b_{unten} + L_s)$$

$\eta = 0$ Keine Verdübelung, Profil trägt alleine:

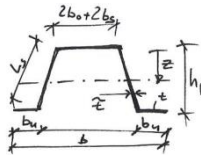
$$A_o = A_u = \frac{A_p}{2} \quad \tilde{t} = \frac{L_s}{h_p} t$$

$$z = \frac{A_o - b_{oben}}{2\tilde{t}}$$

$$N_{Rd} = A_o \frac{f_{yb}}{\gamma_{M1}} = \frac{A_p f_{yb}}{2 \gamma_{M1}}$$

$$z_{so} = \frac{z^2 \tilde{t}}{A_o} \quad z_{su} = \frac{(h_p - z)^2 \tilde{t}}{A_o}$$

$$M_{Rd} = \frac{N_{Rd} \cdot e}{(b)} \quad e = h_p - z_{so} - z_{su}$$



$\eta = 1.0$ Vollverdübelung, Blech voll auf Zug:

$$M_{Rd} = \frac{A_p f_{yb}}{\gamma_{M1} (b)} \cdot e \quad e = h_c + z_{sp} - \frac{x_p}{2} \quad x_p = \frac{A_p f_{yb}}{\gamma_{M1} 0.85 f_{cd} b}$$

$$z_{sp} = \frac{h_p t (L_s + b_{unten})}{A_{tot}} \quad (\text{von oben})$$

$\eta = 0.X$ Teilverdübelung:

→ Anteilsmässiger Betondruck wird aufgebaut

$$A^* = \frac{N_c \gamma_{M1}}{f_{yb}} = \eta A_p \quad x^* = \frac{\eta A_p}{2\tilde{t}} \quad A_o = A_u = \frac{A_p - A^*}{2}$$

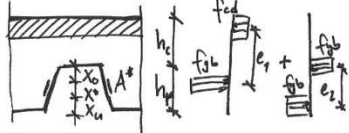
$$x_p = \frac{\eta A_p f_{yb}}{\gamma_{M1} 0.85 f_{cd} b} \quad x_o = \frac{A_o - 2\tilde{t}(b_o + b_s)}{2\tilde{t}}$$

$$x_u = \frac{A_o - 2\tilde{t}b_u}{2\tilde{t}} = h_p - x_o - x^*$$

$$N_c = \eta A_p f_{yb} / \gamma_{M1} \quad e_1 = h_c + x_o + \frac{x^*}{2} - \frac{x_p}{2}$$

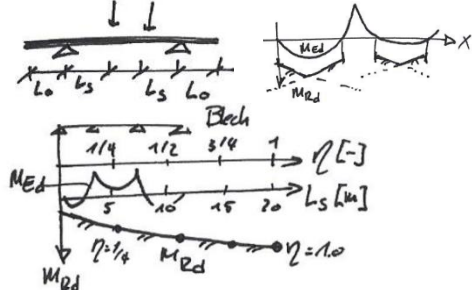
$$N_a = A_o f_{yb} / \gamma_{M1} \quad e_2 = h_p - \frac{\tilde{t}}{2A_o} (x_o^2 + x_u^2)$$

$$M_{Rd} = \frac{N_c \cdot e_1 + N_a \cdot e_2}{(b)}$$

**VERBUNDKURVE**

→ Über Versuche

$$L_s = \frac{N_c f_{ult}}{b \tau_{ud}} \quad \tau_{ud} = \frac{0.9 \tau_{u,min}}{\gamma_{M2} = 1.25} \quad \tau_{u} = \frac{N_c}{(L_o + L_s)b} \quad N_c = \eta A_p f_{yb}$$



Verbundwiderstand muss über gewisse Strecke aufgebaut werden. Bei $L_s \rightarrow$ Vollverbund und $\eta = 1.0$

WEITERE NACHWEISE

→ Siehe SIA 264. 5.4 (Querkraft, Durchstanzen, GZG, A_{smin})

WEITERE DECKEN

- Träger mit Kammerbeton: SIA 264, 5.2
 Verbundträger mit BV-Decken: SIA 264 6.1.3
 Slimfloordecken: SIA 264 5.5, SZS C4, s140ff

MASSNAHMEN VERBUNDSICHERUNG BLECHE

- Hinterschnittene Rippenform
- Sicken oder Noppen
- Endverdübelung mit KBD, Setzbolze, gequetscht

VERBUNDSTÜTZEN

SIA 264 5.3, S29

→ Überprüfe δ für Gültigkeit

ZENTRISCHER DRUCK

SIA 5.3.2, S30

Prinzip Knicknachweis (2. Ordnung):

$$N_{Ed} \leq \chi_k N_{pl,Rd} \quad (15)$$

→ Siehe Norm, straight forward...

knkverb

(Aa, As, Atot, Ia, Is, Itot, fy, fsk, fck, Ecm, Lk, Typ [1;4])
 [mm, N]

→ Langzeitwirkung soll E_{cm} reduziert werden. $E_c \approx \frac{E_{cm}}{3}$
 ecm25 in TR zB

DRUCK MIT BIEGUNG

SIA 5.3.3, S32

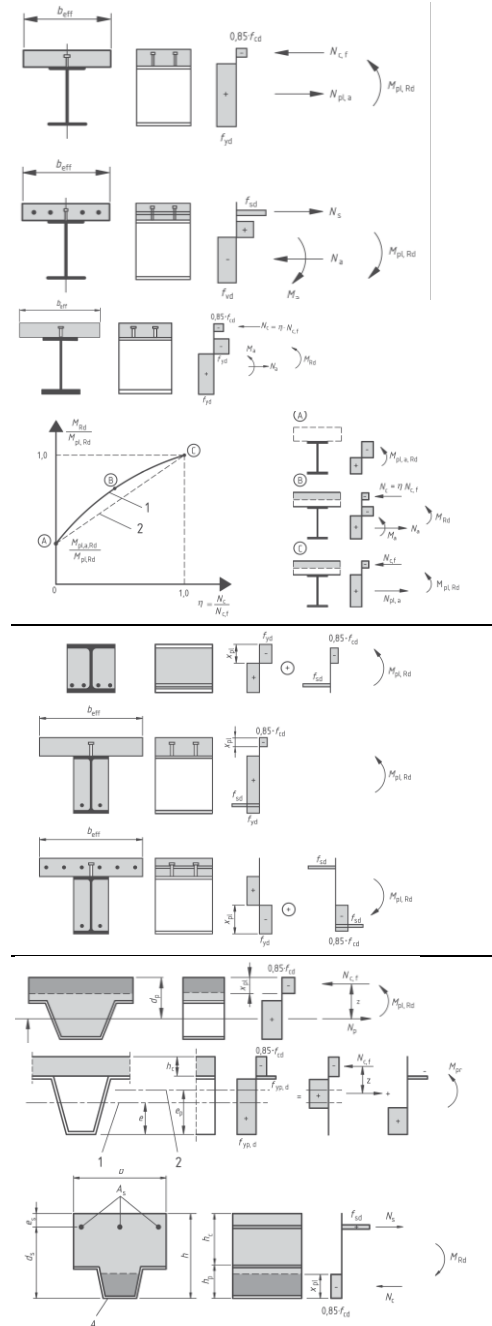
Bei N_{Ed} 10% von N_{cr} , nur Theorie 1. Ordnung

Nachweis 2. Ordnung mit 5.3.3.9, Fig7 und $M_{Ed,II}$

- Bei unverschieblicher Lagerung mit pseudo 2. Ordnung:
 Moment: $M_{Ed,II} = k \cdot M_{Ed,max} = k \cdot (M_{Ed} + N_{Ed} \cdot e_o)$
 $\omega = 0.6 + 0.4 \cdot \frac{M_{Ed,min}}{M_{Ed,max}}$
- Sonst mit Baustatikberechnung der Schnittkräfte 2. Ordnung
 Mit neuem EI_{eff} nach 5.3.3.4

WEITERE NACHWEISE:

- Lokales Beulen (QS-Klasse) Tab5 SIA263
- Lasteinleitung und Längsschub → 5.3.5

QUERSCHNITTSBETRACHTUNG

STABILITÄTSPROBLEME

ÜBERSICHT

Einteilung Berechnungsmethoden:

Elastizitätstheorie II Ordnung	Traglast, Plastizitätstheorie
Ersatzstabverfahren (pseudo) DGL	Flie遝lgelenktheorie, GGW
Iterative Verfahren FEM	
Deformationsmethode ----->	

2. ORDNUNG (ITERATIVES VERFAHREN)

ERSATZIMPERFEKTIONEN

→ SIA 263, 4.2.3, §22:

für seitliche gehaltene oder verschiebbliche Systeme

φ bei höchster Stütze berechnen → $w_0 = \varphi$

VORGEHEN

- **Einwirkungen definieren und massgebende Lastfälle** festlegen
- **Ersatzimperfektionen** berechnen → w_0
- Berechnung der **Schnittkräfte 1. Ordnung**
 $S_{tot}^I = S_{Ed}^I + S_{w0}^I$ (inkl. Schnittkräfte infolge w_0)
 $S_{Ed}^I = S_0 + X_1 S_1$ Kraftmethode falls unbest. System
 S : System, resp Schnittkräfte, 0: Best System infolge E_d , 1: Best System infolge $X_1 = 1$, siehe auch Abschnitt Baustatik
 $S_{w0}^I = \bar{S}_E \cdot H_0$ $H_0 = w_0 / c_{geo}$
 Dazu erst die nächsten zwei Schritte durchführen
- **Systemverhalten infolge Geometrie**
 Berechne Treibende Kraft infolge Auslenkung, resp Kehrwert: (Geometrische Betrachtung!)
 $k_{geo} = \sum_{i=1}^n \frac{N_i^2}{l}$ zB. $H_i = k_{geo} \cdot w_i$
 $c_{geo} = k_{geo}^{-1}$ $[m/kN]$
- **Systemverhalten infolge Ablenkungskräfte**
 Berechne
 $\delta(H=1) = \int \bar{S}_E \bar{S}_0 dx$ (Auslenkung infolge Kraft=1)
 $\bar{S}_E = \bar{S}_0 + X_1 \bar{S}_1$ (Schnittkräfte infolge Kraft=1)
 $c_{system} = \delta(H=1)$ $[m/kN]$
- **Auslenkung infolge S_{tot}^I** (Q und w_0) berechnen (an Stelle w_0)
 $w_1 = w_1(E_d) + w_1(H_0)$
 → Kraftmethode, Einheitskraft führt zu δ an dieser Stelle
 $w_1(E_d) = \delta_{Q1} = \int S_{Q1}^I \bar{S}_{1,best} dx$
 $w_1(H_0) = H_0 \cdot c_{system} = w_0 \cdot \frac{c_{geo}}{c_{system}}$
- **Berechnung 2. Ordnung**
 $\Delta H_1(w_1) = w_1 (\sum \Delta H_{treibend}) = w_1 (\frac{N_{1,d}}{l_1} + \frac{N_{2,d}}{l_2}) = w_1 / c_{geo}$
 $w_2 = \Delta H_1 \cdot c_{system}$ (Zusätzliche Auslenkung infolge H_1 ...)
 $\Delta H_2 = w_2 / c_{geo}$ (Zusätzliche Kraft infolge w_2 ...)
 $\alpha = \frac{c_{system}}{c_{geo}} = \frac{w_2}{w_1} = \frac{H_2}{H_1}$ $\mu = \frac{1}{1-\alpha}$
 $w_{tot} = (w_0) + \mu \cdot w_1$
 $S_{tot}^{II} = S_{Ed}^I + S_{w0}^I + \bar{S}_E \cdot H_1 \cdot \mu = S_{Q1}^I + \bar{S}_E (H_0 + H_1 \cdot \mu)$

Es darf keine Rolle spielen ob w_0 separat oder schon bereits beim Anfangssystem berücksichtigt wird. w_0 führt einfach zu Schnittkräfte 1. Ordnung. Die Verformung $w_1(E_d)$ entsteht allgemein infolge gesamter Einwirkung und nicht nur der Horizontalkräfte!

Zudem gilt: $w_1 + \mu w_2 = \mu w_1$

Einheitenproblematik: $w = f \left(\frac{M L}{EI} \right) = \frac{[kN][m]}{210 \cdot xx \cdot 10^6 (GPa)} = [m]$

NACHWEISE

→ Festigkeit nachweisen mit E_d^{II} (Etwas unklar, was gemacht werden soll, da nicht kompatibel mit Norm)

$$EE: \frac{N_{Ed}^{II}}{A} + \frac{M_{Ed}^{II}}{W_{el}} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

EP: (44), (45), (44) mit $N_{k,Rd}$ anstatt N_{Rd} ...

$$\frac{M_{Ed}^{II}}{M_{Rd} \left[1 - \left(\frac{N_{Ed}^{II}}{N_{Rd}} \right)^2 \right]} \leq 1.0$$

Überlegen was Sinn macht. Je nachdem ob Auslenkung Rahmen oder Auslenkung Stabmitte ist zB Stabilität von Stab gegen Knicken schon berücksichtigt worden oder nicht.

ERSATZSTAB

PRINZIP

Anpassung der Knicklänge, dafür 1. Ordnung rechnen und Formeln nach SIA, Verschiedene Verfahren:

- SZS, C4 s20. aus Tabelle, beschränkt auf gegebene Systeme
- Diagramme nach Petersen, über Feder-Steifigkeiten
- Wendehorst, auf komplexere Systeme Tabelliert.

Allgemein: $l_k = \beta \cdot l$ $\beta = f(\text{Tabelle, Formel})$

Herleitung aus $l_k = \pi \sqrt{\frac{EI}{N_{cr}}}$

NACHWEISE

Nach SIA 1. Ordnung (Stabilität, QS-Klasse, Kippen, Knicken, Interaktion..., Festigkeit)

Falls $\omega = 1.0$ → Festigkeit i.O

WEITERES

STABKENNZAHL

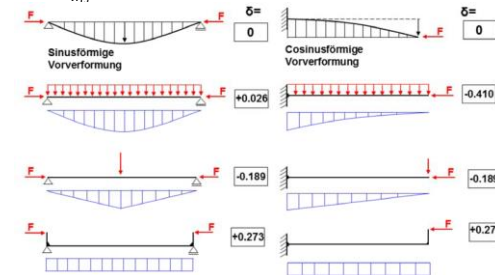
Vernachlässigen der Verminderung der effektiven Biegesteifigkeit infolge der Normalkräfte falls:

$\varepsilon_s = l_s \sqrt{N_s / EI_y} \leq 1.0$ → Säbelkrümmung vernachlässigen

DSCHINGER-FORMEL

Korrekturfaktor δ für Lastfälle wo Momentenlinien nach 1. und 2. Ordnung nicht affin sind.

$$\mu = \frac{1 + \delta \frac{N}{N_{cr}}}{1 - \frac{N}{N_{cr}}}$$



MEHRTEILIGE DRUCKSTÄBE

5.5

ÜBERSICHT

→ SIA 263, 5.5 Vereinfachtes Verfahren für Rahmen und Gitterstäbe mit starren Verbindungen (Allgemein 2. Ordnung)

→ Siehe auch Notizen in Norm

→ Ansonsten wieder EC 3-3-1, 6.4, EC 3-1-1 (Türme und Masten)

KONSTRUKTIVES

- Bindebleche an allen Lasteneinleitungsstellen und Stabenden.
- Stablänge durch Verbindungen mindestens in 3 Abschnitte teilen.
- Starre Anschlüsse der Bindebleche (Geschweisst oder Reibverbindung)

NACHWEISE

Zuerst $\lambda_y, \lambda_z, \lambda_1, \lambda_{z,id}$ bestimmen

A) Knicken Gesamtstab

$$E_d: N_{Ed}$$

$$R_d: \text{Um Stoffachse: } N_{k,Rd} = \sum N_{k,Rd,i}(\lambda_y), (L_k = L)$$

$$\text{Stofffreie Achse: } N_{k,Rd}(\lambda_{z,id}), L_k = L$$

B) Knicken Gurtabschnitte

$$E_d: N_{1,Ed} \text{ (mit Vergrösserungsfaktor), Formel (64)}$$

$$R_d: \text{schwache Achse massgebend:}$$

$$N_{k,z,Rd}(\lambda_1), L_k = L_1$$

C) Tragwiderstand Gurtstäbe im Endfeld

$$E_d: N_{1,Ed} = \frac{N_{Ed}}{2} \quad M_{1,Ed} = V_{Ed,max} L_1 / 4$$

$$V_{1,Ed} = \frac{V_{Ed,max} = \text{Formel (65)}}{2} \approx 0 \ll V_{Rd}$$

$$R_d: \text{Einfach zB mit Formel (44)}$$

D) Nachweis Binderbleche

$$E_d: V_{B,Ed} = V_{Ed,max} \frac{L_1}{2a} \quad M_{B,Ed} = V_{1,Ed} \frac{a}{2}$$

$$R_d: \text{Kippen nach Tab6} \quad i_z = \frac{t}{\sqrt{12}} \quad z = \frac{t}{\sqrt{12}} \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$\text{Für EE: } V_{Rd} = \frac{thf_y}{\sqrt{3}\gamma_{M1}} \quad M_{Rd} = \frac{th^2 f_y}{6 \gamma_{M1}}$$

Schweisnähte Nachweisen (SKD für Einwirkungen)

GLASBAU

EIGENSCHAFTEN

Unterkühlte Schmelze mit nicht kristallinem, amorphen Zustand.

Idel elastischer – spröder Werkstoff

Sprödes Bruchverhalten.

Hergestellt aus Quarzsand, Sulfate, Kalk, Soda, Altglas...

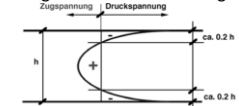
GLASARTEN

Floatglas: Schwimmt auf Zinnbad, Grundmaterial
 $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$, $E \approx 70'000 \text{ N/mm}^2$
 $f_{bruch} = 30 - 90 \text{ MPa}$, $f_{druck} = 700 - 900 \text{ MPa}$
 Ausgangsmaterial, Vertikalverglasung

Weissglas: Extra weiss, kleiner Anteil Eisenoxid

Gussglas: Zwischen Walzen geformt, Drahtglas

ESG: Einscheibensicherheitsglas, vorgespannt durch langsames Abkühlen → Eigenspannungsstand



$f_{biege} = 150 - 180 \text{ N/mm}^2$ zerfällt in Krümel

Keine Bearbeitung nach Vorspannung

TVG: Teilvorgespannt. Kleinere Festigkeit, dafür kein

Problem mit Sulfideinschlüssen als bei ESG

VSG: Verbundsicherheitsglas aus ESG/TVG mit elastischer PVB Folie verunden. Sprödes Verhalten wird verhindert.

Überkopfverglasung, Resttragfähigkeit

Verbundglas: Verbund mit Giessharz, nicht wie VSG da keine „tragende“ Folie

Isolierglas: Durch Aufbau, Mehrschichtig mit Luft/Gasschichten

Spezialgläser: (Wärmedämm, Sonnenschutz, Schallschutz (Untersch. Massen), Brandschutz (Gel, Strahlungsschutz),)

DIMENSIONIERUNG

E-TRLV Bemessung mit σ_{zul} : überkopf/vert. N/mm^2

Floatglas 12/18, ESG 50/50, VSG 15/23, Durchbiegung $L/200$

DIN 18008: Bemessung nach Biegetheorie, wie SIA/EC

$E_d \leq R_d$ $\gamma_M = 1.5, 1.8$ ohne Vorspannung

$f_k =$ Spiegelglas(=SG) 45, ESG(SG) 120, TVG(SG) 70,

VSG (ESG(SG)) 120 VSG(TVG) 70, VSG(SG) 45

VSG: Oberste Schicht häufig als Verschleisssschicht

vernachlässigen. Rechnerische Ersatzdicken, Elastisch Scheibentheorie.

VERBINDUNGEN

Mechanisch: Linienförmig, Geklemmt, best. Lagerung, Punkthalterung

Geklebt: Hart (Acryl, Epoxy), Elastisch (Silikon)

THEORIE

STAHL

→ Weniger als 2% Kohlenstoffgehalt, sonst Gusseisen
Bastahl weniger als 0.25% (Schweisarbeit)

EIGENSCHAFTEN

Hohe Festigkeit, plastische Verformbarkeit, geringe Eigenlast, homogene Eigenschaften, hohes E-Modul

HERSTELLUNG

Reduktion Eisenerz mit Koks im Hochofen. Stahl aus Roheisen durch Frischen (Sauerstoffeinblasen, unerwünschte Stoffe oxidieren → Schlacke) dann desoxidieren. Alternativ mit Lichtbogenofen Stahl recyceln.

BEHANDLUNG

Wärmebehandlung Gefügeänderung: Normal-Glügen (Kornverfeinerung, Eigenspannungen), Spannungsfreiglügen (Eigenspannungen), Vergüten → Gehärtet (erhitzen, abschrecken) und Härten (erwärmen, langsam abkühlen, Festigkeit und Zähigkeit)

Warmwalzen Rekristallisation in feineres Gefüge → Festigkeit und Zähigkeit

Kaltwalzen Verb. Fest. und Zähigkeit, jedoch plast. Verformt

OBERFLÄCHENSCHUTZ

KORROSION

Korrosion, Stahl oxidiert an Luft.

Erhöhen Korrosion: Feuchtigkeit, Salze, Säurebildende Luftverschmutzung (korrosive Industrien)

Dauerhaftigkeit abhängig von: Umwelt, Konstruktion, Oberflächenschutz, Unterhalt

KONSTRUKTIVES

- Beschichtung direkt nach reinigen der Bauteile
- Je weniger Oberfläche desto besser
- Keine unzugänglichen verwinkelten Verbindungen
- Wassersäcke, Kondensation, Spritzwasser vermeiden
- Rohre verschliessen
- Hinterlüften

METHODEN

- Anstrich: Sandstrahlen, Grundanstrich, Deckanstrich
- Feuerverzinken: In Säurebad entfetten, Zinkbad 450°C,
- Wetterfester Stahl: Passivschicht an Oberfläche
- Rostfreier Stahl: Cr-Ni Legierung, teuer

SCHWEISSNÄHTE

SCHWEISSVERFAHREN:

Metalllichtbogen-, Schutzgas-, Unterpulver-, Pressschweissen

NÄHTE

Kehlnaht	V-Naht	K-Naht (Durchgeschw.)
Billig, ungleichförmiger Kraftfluss, Ermüdungsgefährdet, Nachweis nötig	Nur bei einseitiger Zugänglichkeit., Kein Nachweis, teuer, schwierig	Gutes Ermüdungsverhalten, kein Nachweis, teuer

CEV

ca kleiner als 0.4, besteht aus C, Mn, Cr, Mo, Ni, Cu..

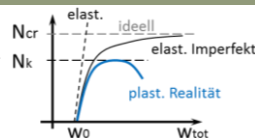
KNICKEN

$\frac{1}{1-N_{cr}}$ Vergrößerungsfaktor zur

Berücksichtigung Effekte 2. Ordnung. (Verformungen erhöhen Schnittkräfte)

Euler-Realität: Zur Berücksichtigung der Eigenspannungen, Ungenauigkeiten..)

→ Modell. Bei Teilplastifizierung bei gedungenen Stäben wird theoretische Knicklast nicht erreicht → vorzeitiges Versagen, verwenden von Knickkurven.



VERBUND

Vor/Nachteile: Materialeinsparung, rascher Baufortschritt, Brandschutz, hoher Verfestigungsgrad, teure Verbindungsmittel.

Minimaler Verdübelungsgrad von 40%:

Damit Dübel nicht limitierender Faktor sind. Duktilität muss gewährleistet sein, damit sich voller plastischer Widerstand ausbilden kann.

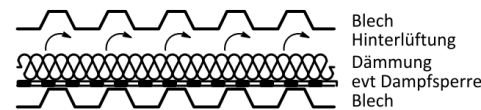
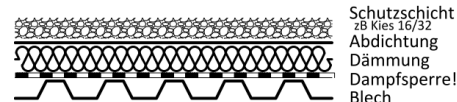
Normalkräfte können wegen fehlendem Scherverbund nicht aufgebaut werden. Äussere Dübel scheren vor Erreichen des plastischen Widerstandes ab → Dominoeffekt

Einflüsse: Art des Verbundmittels, Materialeigenschaften

FASSADEN

Raumabschluss, Schutz vor Umwelt, Kälte, Hitze, Schnee, Wind, Lastabtragung...

Anforderungen: Tragwiderstand, Witterungsschutz, Innenklima, Beleuchtung, Aussehen, Dauerhaftigkeit, Wärmedämmung, Privatsphäre.



ERMÜDUNG

Rissbildung und Heruntersetzen Festigkeit durch zyklische Beanspruchung $N > 50'000$

KRITISCHE STELLEN

Verbindungen, QS-Änderung, Einspringende Ecken, Schweissnähte, Materialfehler

EINFLUSSGRÖSSEN

Lastwechselzahl, Spannungsdifferenz, Geometrie (Kerbwirkung), Materialeigenschaften und Umwelteinflüsse

TRAGWERKE

Strassen, Brücken, Krane, Schwingungen (Maschinen, Offshore, Seilbahn)

KONSTRUKTIVE MASSNAHMEN

Gleichmässige Übergänge, Ausrundungen, durchgehende Kehlnähte, Qualitätssicherung

→ Nachweis mit SIA 263 4.7.4

KRANE

Laufkran (5-500 to), Hängekran (1-10 to), Portalkrane (5-500 to), Konsolkrane (1-10 to)

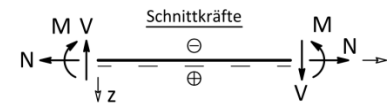
QUELLEN

- Vorlesungsunterlagen M. Fontana Stahlbau I,II,III, ETHZ
- Stahlbau: Grundbegriffe und Bemessung, ppur
- SIA 260, 261, 262, 263, 264, EC 3-x, EC 4-x, perinorm.com
- SZS C5,C4 Tabellen
- ZF T. Humbel (Tabellen, TR-Programme, Theorie)

Alte ZFs von mir

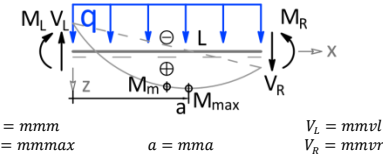
BAUSTATIK

KRÄFTE



MOMENTENFUNKTION TR

moment (q, L, M_L, M_R) → Schnittkräfte



$$M_m = \frac{(M_L + M_R)}{2} + \frac{(M_R - M_L)^2}{2qL^2} + \frac{qL^2}{8} \quad V_L = \frac{M_R - M_L}{L} + \frac{qL}{2}$$

$$M_{max} = \frac{(M_L + M_R)}{2} + \frac{(M_R - M_L)^2}{2qL^2} + \frac{qL^2}{8} \quad V_R = \frac{M_R - M_L}{L} - \frac{qL}{2}$$

$$a = \frac{(M_R - M_L)}{qL} + \frac{L}{2}$$

$$M_m = \frac{(M_L + M_R)}{2} + \frac{qL^2}{8}$$

momx (q, L, M_L, M_R, x) → $M(x) = -\frac{qx^2}{2} + \left(\frac{qL}{2} + \frac{M_R - M_L}{L}\right)x + M_L$

2. ORDNUNG

AFFINE VERGRÖßERUNG

Da Verhältnis von zusätzlicher Ausbiegung zu zusätzlichem Moment konstant → geometrische Reihe

$$w_{tot} = w_0 \cdot \frac{1}{1-\alpha} = w_0 \cdot \frac{1}{1-\frac{F}{F_{cr}}} = \mu \cdot w_0$$

w_0 : Grundausslenkung infolge Querkraft oder Annahme einer Knickfigur.

KNICKKRAFT

- Annahme einer Verformung (Parabel, da in Tabelle) infolge Anfangskrümmung $w_0(x)$ des Stabes → M_0
- Suche zusätzliche Auslenkung w_1 an Stelle mit grösster Ausbiegung infolge Kraft $X_1 = 1$ an dieser Stelle
- $w_1 = \int M_0 \cdot \frac{M_1}{EI} dx \rightarrow w_1 = f(F, w_0)$
- $\Leftrightarrow \frac{w_0}{w_1} \cdot F = \dots = F_{cr}$ da $\frac{w_0}{w_1} = 1$

KNICKLÄNGE

$$L_{kr} = \pi \sqrt{\frac{EI}{F}}$$

VERFORMUNG MIT W0

$$w_{tot} = \mu \cdot w_0 = w_0 \cdot \frac{1}{1-\frac{F}{F_{cr}}} \quad F_{cr} = F_E$$

VERFORMUNG MIT QUERBELASTUNG

$$w_{tot} = \mu \cdot w_1 = w_1 \cdot \frac{1}{1-\frac{F}{F_{cr}}}$$

$$M_{tot} = M_1 + F \cdot w_{tot} (= \mu \cdot M_1)$$

→ Faktisch führt q zu w_1 mit M_1 → Analog oben

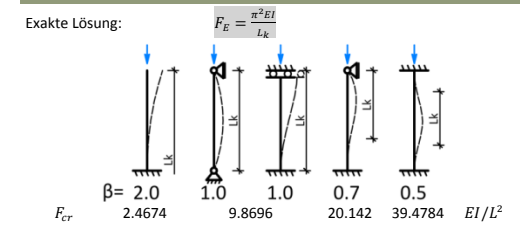
VERFORMUNG MIT QUERBELASTUNG UND W0

$$w_{tot} = w_0 + \mu \cdot w_1 \quad w_1 = w_1(q) + w_1(w_0)$$

$$M_{tot} = M_1 + F \cdot \mu \cdot w_1 \quad M_1 = M_1(q) + M_1(w_0)$$

EULERSCHE KNICKLÄNGE

Exakte Lösung:



TRAGLAST

→ Plastische Gelenke definieren und Verdrehungen einführen

→ Äussere Arbeit mit Dissipationsenergie gleichsetzen

$$W = D, \quad W = F \cdot v, \quad D = M_{ui} \cdot \omega_i + N_{ui} \cdot v$$

→ Für verschiedene Systeme $Q_k = f(M_u)$ berechnen

→ Oberer Grenzwert der Traglast: $\min Q_k \geq Q_u$

ARBEITSGLEICHUNG / KRAFTMETHODE

$$1 \cdot \delta + \sum R_i \cdot r_i = \int \bar{N} \cdot \frac{N}{EA} dx + \int \bar{M} \cdot \frac{M}{EI} dx + \int \bar{V} \cdot \frac{V}{GA} dx + \int \bar{T} \cdot \frac{T}{GI} dx + \int \bar{M} \cdot \frac{\alpha_T (T_R - T_0)}{h} dx + \int \bar{N} \cdot \alpha_T \Delta T dx + \sum \bar{F} \cdot F c_f$$

→ N, V vernachlässigen, Ausnahmen:

- N bei Fachwerken und Zuggliedern mit kleinem QS
- V bei dünnwandigen Profilen und Sandwich-Konstruktion.

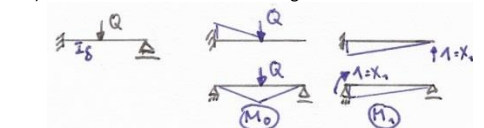
Integration mit Tabelle → $\mu \rightarrow \delta = \sum \frac{L}{E, G, \dots} \cdot \mu \cdot F \cdot \bar{F}$

VORGEHEN

- 1) n Bindungen lösen → System S_0 (mit äusserer Einwirkung)
 - 2) Für jede gel. Bind. ein System mit $X_i = 1$ an Bind.ort einführen → S_i
 - 3) Schnittgrößen für alle Systeme aufzeichnen
 - 4) Mit Arbeitsgleichung Deltas ausrechnen
 - 5) GS lösen
- $\{\delta_i\} = \{\delta_{i0}\} + [\delta_{ij}] \cdot \{X_j\} = \{0\} \rightarrow \{X_j\} = -[\delta_{ij}]^{-1} \cdot \{\delta_{i0}\}$
- Häufig: $X_1 = -\frac{\delta_{10}}{\delta_{11}}$ (gilt nicht wenn Zwängungen → $\{\delta_i\} \neq 0$)

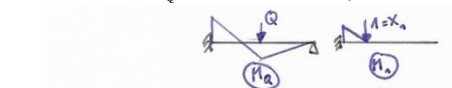
ANWENDUNG STATISCH UNBESTIMMT

- 1) Bestimmen unbestimmter Auflager mittels Kraftmethode



→ X_i , Superposition → $M_Q = M_0 + X_1 \cdot M_1$
→ Schnittkräfte und Auflagerreaktionen bekannt

- 2) Berechnung Durchbiegung an neuer Stelle: Anwendung Kraftmethode und Reduktionssatz
→ Verwende M_Q und stat. best. Ersatzsystem



$$3) \delta_{wQ} = \int M_Q \cdot \frac{M_1}{EI} dx \quad (\text{Arbeitsgleichung})$$

ZWÄNGUGNEN

$$X_1 = \frac{\Delta}{\delta_{11}}$$

SPANNUNGSZUSTAND

NORMALSPANNUNGEN

1-ACHSIGER SPANNUNGSZUSTAND

$$\sigma_k = \frac{N_k}{A} = E \cdot \varepsilon_k \quad N = EA \varepsilon_k \quad \varepsilon_{l,m} = -\nu \frac{\sigma_k}{E} \quad \varepsilon_k = \frac{\Delta l}{l_0}$$

→ Konstante Verteilung über Querschnitt

ALLGEMEINE BIEGUNG

$$\sigma_x = \frac{N_x}{A} + \frac{M_y}{I_y} \cdot z - \frac{M_z}{I_z} \cdot y \quad \text{bez. HA!}$$

→ Sonst Momente auf HA zerlegen
 $M_y = M \cdot \cos \varphi \quad M_z = -M \cdot \sin \varphi$
 → lineare Verteilung in y, z-Richtung

NEUTRALACHSE NA

$$\sigma_x = 0 \quad \text{Auffassen wie Fkt: } z = f\left(\frac{M_z \cdot I_y}{M_y \cdot I_z} \cdot y\right)$$

→ Durchbiegung NICHT $\perp$ zu Moment
 → Durchbiegung $\perp$ zu Neutralachse
 → Abhängig von grösstem Belastung
 → Punkte mit grösstem Abstand $\Rightarrow |\sigma_x| = \max$
 → Auch Nulllinie genannt

SCHUBSPANNUNGEN

Theorie 1. Ordnung: Allg. linear elastisch, $\frac{h}{L} \ll 1 \Rightarrow \tau = 0$
 Theorie 2. Ordnung: Dicke Träger, dünnwand. $\Rightarrow \tau \neq 0$

SCHUBSPANNUNG INFOLGE QUERKRAFT

$$\tau_{zx}(z_s) = \frac{V_z \cdot S_y(z_s)}{b(z_s) \cdot I_y} \quad \text{Bisquitformel}$$

• Statisches Moment S_y [m³]
 $S_y = \iint_A z_s \, dA$
 $S_y = \sum z_c \cdot \Delta A$
 → S_y : Abstand immer in z-Richtung
 → Immer von Sp.-freier Oberfläche aus
 → Beachten ob τ_{yx} , τ_{zx} und Vorzeichen

Rechteck:
 $S_y = \frac{b}{2} \left(\frac{h^2}{4} - z^2 \right) \quad \tau = \frac{3}{2} \frac{V_z}{hb} \left[1 - \left(\frac{2z}{h} \right)^2 \right] \quad \tau_{\max} = \frac{3}{2} \frac{V_z}{hb}$

Kreis:
 $S_y = \frac{2}{3} (R^2 - z^2)^{3/2} \quad \text{NB: } \tau_{yx} = -\frac{z}{y} \tau_{zx} \quad \text{nur exakt für } \nu = 0.5$

DÜNNWANDIGER QS:

H-Profil Flansch: $\tau_{yx} = \frac{V_z \cdot h}{I_y} \left(\frac{b}{2} - y \right)$
 Steg: $\tau_{zx} = \frac{V_z}{I_y} \left[\frac{bh}{2} + \frac{1}{2} (a^2 - z^2) \right]$

SCHUBSPANNUNG INFOLGE TORSION

Kreisprofil:
 $\tau_{\phi x} = \frac{T}{I_p} \cdot r \quad I_p = I_y + I_z \quad \theta' = \frac{T}{G I_p}$
 linear Verteilte τ ; $\theta = 0, \theta' \neq 0$ bei Einspannung

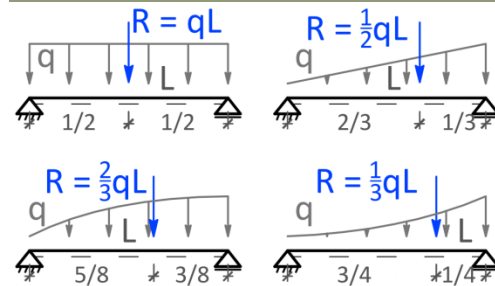
Rechteck: $\tau = -\frac{2T}{I_p} \cdot z \quad I^* = \frac{1}{3} a \cdot t^3 \quad \theta' = \frac{T}{G I^*}$

Offener dünnwand. QS:
 $\tau = -\frac{2T}{I_p} \cdot z \quad I^* = \frac{1}{3} a \cdot t^3 \quad \theta' = \frac{T}{G I^*} \quad a$: Bogenlänge

Geschlossener dünnwand. QS:
 $\tau = \frac{T}{2A_0 t} \quad \text{(Bredt)} \quad I^* = \frac{4A_0^2}{U_0} t \quad \theta' = \frac{T}{G I^*}$

A_0 : Lochfläche (Achse), U_0 : Umfang (Achse), t : Wandung

LASTFÄLLE



→ Vorsicht: q und l am Schluss zurücksostituieren

SCHWERPUNKT

$$\text{Allgemein: } \Delta s = \frac{M}{A} = \frac{\iint x \, dx}{\iint dA}$$

$$\text{Vereinfacht: } \Delta s = \frac{\sum (A_i \cdot s_i)}{\sum A_i} = \sum (s_i \cdot \mu_{A_{tot}})$$

ANWENDUNG TRÄGHEITSMOMENTE

Von Bekannten ausgehen und dann Verschieben / Summieren

Tabellen			
1)	2)	$A_1 = HB \quad A_2 = B(H-h)$	
		1) $I_y = \frac{B \cdot H^3}{12} \quad I_z = \frac{HB^3}{12}$	
		2) $I_y = \frac{B}{12} (H^3 - h^3)$	
		Quadrat beliebig drehbar	
3)	4)	5)	
		$A_{3,4,5} = BH - bh$	
		3,4,5) $I_y = \frac{1}{12} (BH^3 - bh^3)$	
		5) Vorsicht s und $C_{xy} \neq 0$	
6)	7)	$A_6 = R^2 \pi \quad A_7 = (R^2 - r^2) \pi$	
		6) $I_y = I_z = \frac{\pi R^4}{4} \quad I_p = 2I_y$	
		7) $I_y = I_z = \frac{\pi (R^4 - r^4)}{4}$	
8)	9)	$A_8 = \frac{\pi}{4} R^2 \quad A_9 = \frac{\pi}{2} AB$	
		$S_1 = S_2 = \frac{4r}{3\pi}$	
		8) $I_y = I_z = \left(\frac{\pi}{16} - \frac{4}{9\pi} \right) R^4$	
		$C_{yz} = \left(\frac{4}{9\pi} - \frac{1}{8} \right) R^4$	
9)		$I_y = \left(\frac{\pi}{8} - \frac{8}{9\pi} \right) BH^3 \quad I_z = \frac{\pi}{8} HB^3 \quad C_{yz} = 0$	
10)	11)	$A_{10,11} = \frac{BH}{2} \quad S = \frac{H}{3}$	
		10) $I_y = \frac{BH^3}{36} \quad I_z = \frac{HB^3}{48} \quad C_{yz} = 0$	
		11) $I_y = \frac{BH^3}{36} \quad I_z = \frac{HB^3}{36} \quad C_{yz} = \frac{B^2 B^2}{72}$	

STANDARTFÄLLE

System für	Auflager	Momente	Durchbiegung
	$A = \frac{qL}{2} \quad B = \frac{qL}{2}$	$\frac{qL^2}{8} \quad [x = \frac{L}{2}]$	$w_u = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI}$
	$A = \frac{Qb}{L} \quad B = \frac{Qa}{L}$	$\frac{Qab}{L} \quad [x = a]$	$w_u = \frac{1}{48} \frac{Qa^2}{EI} \left(\frac{3a}{L} - 4 \left(\frac{a}{L} \right)^3 \right) \quad [a \leq b]$
	$A = \frac{q}{2} \left(L - \frac{L^2}{L} \right) \quad B = \frac{q}{2} \left(L + \frac{L^2}{L} + 2L \right)$	$M_B = \frac{Qa^2}{2L} \quad [x = a]$	$w_u = \frac{qL^2}{32EI} \left(\frac{5}{12} L^2 - L^2 \right) \quad w_c = \frac{qL^2}{24EI} (3L^2 + 4LL_a - L^2)$
	$A = -\frac{Qa}{L} \quad B = \frac{P(a+L)}{L}$	$-Qa \quad [x = L]$	$w_u = \frac{1}{EI} \left(-\frac{1}{16} (QLa^3) \right) \quad w_c = \frac{1}{6EI} Qa(2LL_a + 3L_a a - a^2)$
	$A = qL \quad B = 0$	$-\frac{qL^2}{2} \quad [x = 0]$	$w_B = \frac{1}{EI} \frac{qL^4}{8} \quad v_B = \frac{1}{EI} \left(-\frac{qL^3}{6} \right)$
	$A = Q \quad B = 0$	$-QL \quad [x = 0]$	$w_B = \frac{QL^3}{3EI} \quad v_B = \frac{1}{EI} \left(-\frac{QL^2}{2} \right)$
	$A = 0 \quad B = 0$	$M = \text{const}$	$w_B = \frac{ML^2}{2EI} \quad v_B = \frac{ML}{EI}$
	$A = \frac{5}{8} qL \quad B = \frac{3}{8} qL$	$M_B = \frac{9}{128} qL^2 \quad [x = 0.63 \cdot L]$	$w_{\max} = \frac{2}{369EI} qL^4 \quad [x = 0.5785 \cdot L]$
	$A = Q - Q_B \quad B = \frac{Qa^2}{2L^3} (b + 2L)$	$M_B = \frac{Qa^2 b}{2L^3} (2a + 3b) \quad [x = a]$	$w_0 = \frac{Qa^3 b^3}{12EI L^3} \left(3 + \frac{b}{L} \right) \quad \text{nicht Max}$
	$A = \frac{qL}{2} \quad B = \frac{qL}{2}$	$M_A = M_B = \frac{qL^2}{12} \quad [x = \frac{L}{2}]$	$w_M = \frac{1}{384EI} qL^4$
	$A = \frac{Qb^2}{L^3} (L + 2a) \quad B = Q - A$	$M_A \left[a \leq \frac{L}{2} \right], M_B = \frac{2Q}{L^3} \frac{a^2 b^2}{L^3} \quad [x = a]$	$w_0 = \frac{Qa^3 b^3}{3EI L^3} \quad \text{nicht Max}$
	$M_A = -\frac{qa^2}{12L^2} (6L^2 - 8La + 3a^2) \quad M_B = -\frac{qa^2}{12L^2} (4L - 3a) \quad M_A = -\frac{qa^2}{8L^2} \left(1 + \left(\frac{b}{L} \right)^2 \right)$		
	$M_A = -\frac{Qab^2}{8L^2} \left(2 - \left(\frac{b}{L} \right)^2 \right) \quad M_B = \frac{Qa^2}{8L^2} (2L - a)^2 \quad \text{bei } A/Q$		
	$A = \frac{Qa}{2L} (2L - a) \quad M_{\max} = \frac{Qa^2}{8L^2} (2L - a)^2 \quad \text{bei } A/Q$		

Einfacher Balken mit Feder links und Linienlast: $M_A = -\left(\frac{1}{3} \frac{qL^3}{8EI} \right) \left(\frac{1}{3} \frac{L}{EI} + C_f \right) \quad x = 0.586l$
Plastisch: Einfach Eingespannt: $M_{pl} = qL^2/11.66$
 Doppelt Eingespannt: $M_{pl} = qL^2/16$

ZWÄNGUNGEN

M_L	System für L, EI	M_R	M_L	System für L, EI	M_R
$\frac{6EI\Delta}{L^2}$		$\frac{6EI\Delta}{L^2}$	$\frac{2EI\theta}{L}$		$\frac{4EI\theta}{L}$
$\frac{3EI\Delta}{L^2}$		-	-		$\frac{3EI\theta}{L}$

ERSATZSYSTEME

System für L, EI	c_i	System für L, EI	c_i
	$\frac{L^3}{48EI}$		$\frac{L}{GK}$
	$\frac{7L^3}{768EI}$		$\frac{L}{3EI}$
	$\frac{L^3}{192EI}$		$\frac{L}{4EI}$
	$\frac{L^3}{3EI}$		

$$C_f \cdot F = W$$

$$C_m \cdot M = W$$

INTEGRATIONSTABELLE

	1/3	1/12	1/4	7/48	1/5	3/10	2/15	1/30	1/5
	1/3	1/4	1/12	7/48	1/5	2/15	3/10	1/5	1/30
	2/3	5/12	1/4	17/48	7/15	11/30	8/15	3/10	2/15
	2/3	1/4	5/12	17/48	7/15	5/15	11/30	2/15	3/10
	2/3	1/3	5/12	17/48	7/15	7/15	7/15	1/5	1/5
	1/2	1/4	1/3	5/12	8/15	7/15	7/15	1/5	1/5
	1/2	1/6	1/3	1/3	5/12	1/4	1/12	1/4	7/48
	1/2	1/3	1/6	1/4	1/3	5/12	1/4	1/12	1/12
	1	1/2	1/2	2/3	2/3	2/3	1/3	1/3	1/3

Arbeitsgleichung/Kraftmethode
 $\phi/w = \mu \cdot X_0 \cdot \bar{X}_1 \cdot L/EI$
 $\bar{X}_1$ bei gesuchter Grösse einführen
 $\delta_{10} = \mu \cdot M_0 \cdot \bar{M}_1 \cdot L/EI$
 $\delta_{11} = \mu \cdot \bar{M}_1^2 \cdot L/EI$
 $X_1 = -\frac{\delta_{10}}{\delta_{11}}$
 0 best. System mit Einwirkung
 1 best. System mit X_1
 Alternativ mit Federn =

PRÜFUNG SB I+II**HS2012**

Der Aufgabenstellung lag eine gemeinsame Situation zugrunde: Ein horizontales Stahldach für ein kleines Stadion. HEB Stütze mit beidseitig (aber asymmetrisch) frei auskragendem Blech-Hauptträger, einigen Pfetten. Auf der Tribünenrückseite wurde Blechträger nach unten mit einem Zugstab (RRW) gehalten. Dazu wurden 5 unabhängige Aufgaben gestellt. Es gab auch Beilagen mit Übersichts und Detailplänen, fand ich recht kuul =]

EINLESEN

Zuerst hatte man sagenhafte 5min Zeit um sich einzulesen.

AUFGABEN:

- Schnittkräfte, respektive horizontale Haltekraft mit Kraftmethode (algebraisch) berechnen und einsetzen. Schnittkräfte zeichnen.
- Blechträger nachweisen (Schnittkräfte gegeben, zudem war QS glücklicherweise nirgends EER)
- Stütze Nacheisen (inkl Kippen, Knicken, volles Programm)
- Schraubenanschluss des Zugstabes Nachweisen: Schweissnaht, Bleche, Schrauben auf Schub... volles Programm)
- Fragen zu Windverbänden

BEMERKUNGEN

Die oberen 4 gaben 4.5-5.0 Punkte, die letzte glaub ich, nur 1.0 Punkt. Keine Verbund-Aufgabe (wäre auch nur ein wer-tippt-schneller-in-den-TR gewesen). Wenn man alles auf Anhieb richtig gemacht hätte und auch genügend schnell war, hätte man wahrscheinlich sogar fertig werden können (!!). Es war alles in allem eine faire Prüfung, nichts völlig Unbekanntes, und doch genügend herausfordernd. Es bleibt dennoch eine schwierige Prüfung, die auch noch voll auf Tempo geht. Der TR kann da eine grosse Hilfe sein.

Ein Thema welches in neueren Prüfungen immer wieder auftaucht ist Beulen auf Schub für Querkkräfte, welches aber in den diesjährigen HU nicht behandelt wurde.

PRÜFUNG SB III