

STATISCH UNBESTIMMTE SYSTEME

Dreimomentengleichung nach Clapeyron

$M_L \cdot l_L + 2 \cdot M \cdot (l_L + l_R) + M_R \cdot l_R = -R_L \cdot l_L - L_R \cdot l_R$

 $R_L \dots$ Belastungsglied für das rechte Auflager des linken Feldes

 $L_R \dots$ Belastungsglied für das linke Auflager des rechten Feldes

Belastungsglieder:

Nr.	Lastfall	L	R
		$\frac{l}{6EI} \cdot L = \phi_A$	$\phi_B = \frac{l}{6EI} R$
1		$\frac{q l^2}{4}$	$\frac{q l^2}{4}$
2		$\frac{q c^2}{4 l^2} (2l - c)^2$	$\frac{q c^2}{4 l^2} (2l - c)^2$
3		$\frac{9}{64} q l^2$	$\frac{7}{64} q l^2$
4		$\frac{q c b}{l^2} (l^2 - b^2 - \frac{c^2}{4})$	$\frac{q c a}{l^2} (l^2 - a^2 - \frac{c^2}{4})$
5		$\frac{q c}{8 l} (3l^2 - c^2)$	$\frac{q c}{8 l} (3l^2 - c^2)$
6		$\frac{q c^2}{3 l} (2l - 2,25c + 0,6 \frac{c^2}{l})$	$\frac{q c^2}{3 l} (l - 0,6 \frac{c^2}{l})$
7		$\frac{q c^2}{3 l} (l - 0,6 \frac{c^2}{l})$	$\frac{q c^2}{3 l} (2l - 2,25c + 0,6 \frac{c^2}{l})$
8		$\frac{5}{32} q l^2$	$\frac{5}{32} q l^2$
9		$\frac{7}{60} q l^2$	$\frac{8}{60} q l^2$
10		$\frac{q c^2}{2 l} (l - 0,5c)$	$\frac{q c^2}{2 l} (l - 0,5c)$
11		$\frac{q}{4} (l^2 - 2a^2 + \frac{a^3}{l})$	$\frac{q}{4} (l^2 - 2a^2 + \frac{a^3}{l})$
12		$\frac{1}{5} q l^2$	$\frac{1}{5} q l^2$
13		$\frac{10}{60} q l^2$	$\frac{11}{60} q l^2$
14		$\frac{1}{15} q l^2$	$\frac{1}{12} q l^2$
15		$\frac{F a b}{l^2} (l + b)$	$\frac{F a b}{l^2} (l + a)$
16		$\frac{3}{8} F l$	$\frac{3}{8} F l$
17		$\frac{3 F a}{l} (l - a)$	$\frac{3 F a}{l} (l - a)$

18		$\frac{F a}{4} (n^2 - 1)$	$\frac{F a}{4} (n^2 - 1)$
19		$\frac{2}{3} F l$	$\frac{2}{3} F l$
20		$\frac{15}{16} F \cdot l$	$\frac{15}{16} F l$
21		$\frac{6}{5} F l$	$\frac{6}{5} F l$
22		$\frac{F a}{4} (n^2 + \frac{1}{2})$	$\frac{F \cdot a}{4} (n^2 + \frac{1}{2})$
23		$\frac{M}{4}$	$-\frac{M}{4}$
24		$\frac{M}{l^2} (l^2 - 3b^2)$	$-\frac{M}{l^2} (l^2 - 3a^2)$
25		M	2M
26		2M1 + M2	M1 + 2M2
27		$\frac{6EI}{l^2} (w_B - w_A)$	$-\frac{6EI}{l^2} (w_B - w_A)$
28		$3EI \alpha_t \frac{\Delta t}{h}$	$3EI \alpha_t \frac{\Delta t}{h}$

LASTANNAHME

Schneelast

H ≤ 200 mü.d.M.

⇒ $q_{sk} = 1,6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

200 < H ≤ 750 mü.d.M.

⇒ $q_{sk} = 1,6 + \frac{3 \cdot (H - 200)}{1000} \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

H > 750 mü.d.M.

⇒ $q_{sk} = 3,25 + \frac{8,5 \cdot (H - 750)}{1000} \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Formbeiwerte:

Formbeiwert	0° ≤ α ≤ 15°	15° < α ≤ 30°	30° < α ≤ 60°	> 60°
μ ₁	0,8	0,8	$0,8 \cdot \frac{(60 - \alpha)}{30}$	0
μ ₂	0,8	$0,8 + 0,4 \cdot \frac{\alpha - 15}{30}$	$\frac{(60 - \alpha)}{30}$	0
μ ₃	$0,8 + 0,8 \cdot \frac{\alpha}{30}$	$0,8 + 0,8 \cdot \frac{\alpha}{30}$	1,6	0
μ ₁ *	0,8	$0,8 \cdot \frac{(60 - \alpha)}{45}$		0

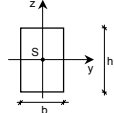
FESTIGKEITSLEHRE

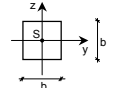
Trägheitsmomente

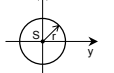
axiales Trägheitsmoment $I_y = \Delta A_1 \cdot z_1^2 + \Delta A_2 \cdot z_2^2 + \Delta A_3 \cdot z_3^2 \dots$

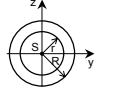
$I_z = \Delta A_1 \cdot y_1^2 + \Delta A_2 \cdot y_2^2 + \Delta A_3 \cdot y_3^2 \dots$

Trägheitsmomente wichtiger Querschnitte

1) *Rechteck*  $I_y = \frac{b \cdot h^3}{12}$
 $I_z = \frac{b^3 \cdot h}{12}$

2) *Quadrat*  $I_y = I_z = \frac{b^4}{12}$

3) *Vollkreis*  $I_y = I_z = \frac{r^4 \cdot \pi}{4}$

4) *Kreisring*  $I_y = I_z = \frac{(R^4 - r^4) \cdot \pi}{4}$

Satz von Steiner

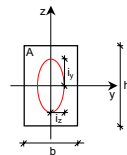
Das Trägheitsmoment einer Fläche A für eine zur Schwerachse parallele Achse ist gleich der Summe aus Eigenträgheitsmoment und dem Produkt aus Fläche A und dem Quadrat des Abstands beider Achsen.

Bsp.: $I_y = I'_y + A \cdot z_s^2$ $I_z = I'_z + A \cdot y_s^2$

Trägheitsradius

$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$

$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$



im Fall eines Rechtecks

$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6}$

$W_z = \frac{b^2 \cdot h}{6}$

Widerstandsmoment

$W = \frac{I}{a} = \frac{\text{Trägheitsmoment}}{\text{Faserabstand}}$

Zugspannung

$\sigma_z = \frac{F}{A_n}$

Druckspannung

$\sigma_D = -\frac{F}{A_n}$

Temperaturspannungen

$\sigma_T = E \cdot \alpha_T \cdot \Delta T$

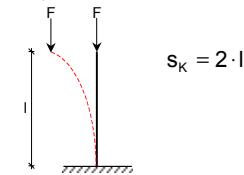
$\alpha_{T \text{ Stahl}} = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ m/m}^\circ\text{K}$

Knickspannung

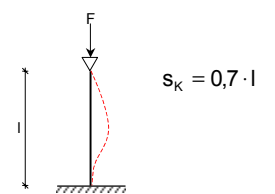
$\sigma_K = \omega \cdot \frac{F}{A}$

Knicklänge s_K

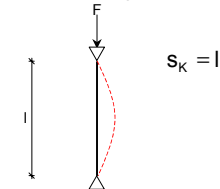
1. **Eulerfall:**
einseitige Einspannung + freies Lager



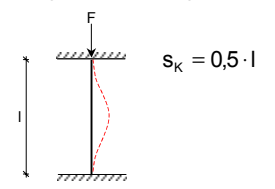
3. **Eulerfall**
1 festes Auflager + 1 eingespanntes



2. **Eulerfall**
2 feste Auflager



4. **Eulerfall**
2 eingespannte Auflager



Schlankheit λ

$\lambda = \frac{s_K}{i} = \frac{\text{Knicklänge}}{\text{Trägheitsradius}}$

Knickzahl ω

siehe jeweilige Tabelle

Biegespannung

$\sigma = \frac{M}{W}$

Spannung bei Längskraft und Biegung (Überlagerung):

$\sigma_{M,N} = \frac{M}{W} \pm \frac{N}{A}$

Tangentialspannung

$$\tau_v = \tau_H = \frac{Q \cdot S}{b \cdot I}$$

im Fall eines Rechtecks

$$\tau = 1,5 \cdot \frac{Q}{A}$$

- Q... Querkraft
- S... statisches Moment des unterhalb der untersuchten Faser liegenden Trägerteils bezogen auf die Nullfaser
- I... gesamte Trägheitsmoment
- b... Breite der untersuchten Faser
- τ... Schubspannung in der untersuchten Faser

Scherspannung

$$\tau_A = \frac{Z}{A} \leq \tau_A$$

HOLZBAU

Druckstäbe

Faustformel für die Wahl geeigneter Querschnitte s_k [m]

$$A \approx 1,4 \cdot F + 9 \cdot s_k^2 \quad \square$$

$$A \approx 1,2 \cdot F + 7 \cdot s_k^2 \quad \circ$$

alle restlichen Formel sind dem Kapitel *Festigkeitslehre* zu entnehmen

Wendehorst - Bautechnische Zahlentafel - 28. Auflage

Kapitel Holzbau.....807
 σ_{zul}810
 ω_{Holz}837
 Holzträger.....900

STAHLBAU

zulässige Spannungen für Lastfall H:

Stahl	σ_{zul} $\frac{kN}{cm^2}$		τ_{zul} $\frac{kN}{cm^2}$ = 0,575 σ_{zul}
	t ≤ 40 mm	t ≥ 40 mm	
Fe 360	16	14	9,2
Fe 430	19	17	10,9
Fe 510	24	21	13,8

Bemessung von Zugstäben

$$\sigma_z = \frac{F}{A} \leq \sigma_{z,zul}$$

Bemessung von Druckstäben

mit Knickgefahr

$$\sigma_D = \omega \cdot \frac{F}{A} \leq \sigma_{D,zul}$$

$$\lambda = \frac{s_k}{i_{min}} \Rightarrow \omega$$

ohne Knickgefahr

$$\sigma_D = \frac{F}{A} \leq \sigma_{D,zul}$$

Knickzahlen ω für St 37 (Fe 360)

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	λ
20	1,04	1,04	1,04	1,05	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08	20
30	1,08	1,09	1,09	1,10	1,10	1,11	1,11	1,12	1,13	1,13	30
40	1,14	1,14	1,15	1,16	1,16	1,17	1,18	1,19	1,19	1,20	40
50	1,21	1,22	1,23	1,23	1,24	1,25	1,26	1,27	1,28	1,29	50
60	1,30	1,31	1,32	1,33	1,34	1,35	1,36	1,37	1,39	1,40	60
70	1,41	1,42	1,44	1,45	1,46	1,48	1,49	1,50	1,52	1,53	70
80	1,55	1,56	1,58	1,59	1,61	1,62	1,64	1,66	1,68	1,69	80
90	1,71	1,73	1,74	1,76	1,78	1,80	1,82	1,84	1,86	1,88	90
100	1,90	1,92	1,94	1,96	1,98	2,00	2,02	2,05	2,07	2,09	100
110	2,11	2,14	2,16	2,18	2,21	2,23	2,27	2,31	2,35	2,39	110
≥ 120 ≤ 250	$\omega = \frac{\lambda^2}{5922}$										

Bemessung von Biegeträgern

Biegezug

$$\sigma_o = \frac{M}{W_o} = \frac{M}{\frac{I_y}{a_o}} = \frac{M}{I_y} \cdot a_o \leq \sigma_{D,zul}$$

Biegedruck

$$\sigma_u = \frac{M}{W_u} = \frac{M}{\frac{I_y}{a_u}} = \frac{M}{I_y} \cdot a_u \leq \sigma_{z,zul}$$

Biegung bei symmetrischen Profil $\sigma_B = \frac{M}{W} \leq \sigma_B$

Schubspannung $\tau = \frac{Q \cdot S_y}{I_y \cdot s} \leq \tau_{zul}$

Vergleichsspannung $\sigma_V = \sqrt{\sigma_B^2 + 3 \cdot \tau^2}$

$S_y \dots$ statisches Moment

vereinfachte Formel:
 $\tau = \frac{Q}{A_{Steg}}$ (nur in bestimmten Fällen)

wenn $\tau_{vor} \leq \frac{1}{2} \cdot \tau_{zul}$ kein Nachweis der Vergleichsspannung notwendig

Bemessung von Druckstäben mit Biegung

Biegespannungsnachweis $\sigma_o = \frac{M}{W_o} \leq \sigma_{B,zul}$

Knicknachweis mit Überlagerung

$$\sigma_{k_o} = \omega_y \cdot \frac{N}{A} + 0,9 \cdot \frac{M}{W_y} \leq \sigma_{zul}$$

$\sigma_u = \frac{M}{W_u} \leq \sigma_{B,zul}$

reiner Knicknachweis

$$\sigma_{k_o} = \omega_z \cdot \frac{N}{A} \leq \sigma_{zul}$$

Nietverbindungen

Abscherung: $\tau_{A,N} = \frac{F}{A} = \frac{F}{\frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot m \cdot n} \leq \tau_{A,N,zul}$

Lochleibspannung: $\sigma_{L,N} = \frac{F}{A} = \frac{F}{d \cdot t_{min} \cdot n} \leq \sigma_{L,N,zul}$

Zugspannung bei axialer Belastung: $\sigma_{Z,N} = \frac{F}{n \cdot A_{Sch,N}} \leq \sigma_{Z,N,zul}$

Vergleichsspannung bei gleichzeitiger Auftreten von $\tau_{A,N} + \sigma_{Z,N}$: $\left(\frac{\tau_{A,N,vorh}}{\tau_{A,N,zul}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{Z,N,vorh}}{\sigma_{Z,N,zul}} \right)^2 \leq 1$

Spannungen im geschwächten Querschnitt: $\sigma_{Z,Platte} = \frac{F}{A_n} = \frac{F}{t \cdot (b - d \cdot n)} \leq \sigma_{Z,zul}$

$\tau_{A,N,zul} = 12 \text{ kN/cm}^2$
 $\sigma_{L,N,zul} = 2 \cdot \sigma_{Stahl} = 32 \text{ kN/cm}^2$
 $\sigma_{Z,N,zul} = 5 \text{ kN/cm}^2$

$n \dots$ Anzahl der Nieten
 $m \dots$ Schnittigkeit
 $d \dots$ \varnothing Loch bzw. geschlagene Niete
 $t_{min} \dots$ kleinste von t_2 oder $2 \cdot t_1$
 $F \dots$ Zugkraft
 $A_{Sch} \dots$ Schaftfläche

Abstände: **Randabstände:**
kleinste Abstände $\begin{cases} \parallel \text{ zur Krafrichtung } 2 \cdot d \\ \perp \text{ zur Krafrichtung } 1,5 \cdot d \end{cases}$

Achsabstände:
kleinste Abstände: $3 \cdot d$
max. Abstände: $10 \cdot d$ oder $20 \cdot t$

max. Abstände $\begin{cases} \parallel \\ \perp \end{cases} \left. \begin{matrix} 3 \cdot d \text{ oder } 6 \cdot t \\ \end{matrix} \right\} t_{min} \dots \text{dünntes außenliegendes Teil}$

Nieten nach UNI 136:

d_{Niete}	10	13	16	19	22	25	28
d_{Loch}	10,5	14	17	20	23	26	29

Schraubenverbindungen

Abscherung: $\tau_{A,N} = \frac{F}{A} = \frac{F}{A_{Sch} \cdot m \cdot n} \leq \tau_{A,N,zul}$

Lochleibspannung: $\sigma_{L,N} = \frac{F}{A} = \frac{F}{d_1 \cdot \sum t_{min} \cdot n} \leq \sigma_{L,N,zul}$

Zugspannung bei axialer Belastung: $\sigma_{Z,N} = \frac{F}{n \cdot A_{Kern}} \leq \sigma_{Z,N,zul}$

Vergleichsspannung bei gleichzeitiger Auftreten von $\tau_{A,N} + \sigma_{Z,N}$: $\left(\frac{\tau_{A,N,vorh}}{\tau_{A,N,zul}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{Z,N,vorh}}{\sigma_{Z,N,zul}} \right)^2 \leq 1$

Spannungen im geschwächten Querschnitt: $\sigma_{Z,Platte} = \frac{F}{A_n} \leq \sigma_{Z,zul}$

Abstände: siehe Nietverbindungen

Sechskantschrauben:

d_1	d_2	Querschnitte	
		A_{Kern}	A_{Schaft}
M12	13	0,843	1,13
M16	17	1,57	2,01
M20	21	2,45	3,14
M22	23	3,03	3,80
M24	25	3,53	4,52
M27	28	4,59	5,73
M30	31	5,61	7,07

bei 8.8 Schrauben

$\tau_{A,N,zul} = 19 \text{ kN/cm}^2$
 $\sigma_{L,N,zul} = 2 \cdot \sigma_{Stahl} = 32 \text{ kN/cm}^2$
 $\sigma_{Z,N,zul} = 28 \text{ kN/cm}^2$

$A_{Kern} \dots$ Kernquerschnitt
 $A_{Sch} \dots$ Schaftquerschnitt
 $n \dots$ Anzahl der Schrauben
 $m \dots$ Schnittigkeit
 $d_2 \dots$ \varnothing Schaft
 $t_{min} \dots$ kleinste von t_2 oder $2 \cdot t_1$
 $F \dots$ Zugkraft

$d_1 \dots$ Schaftdurchmesser [mm]
 $d_2 \dots$ Schaftdurchmesser bei Passschrauben [mm]
 $A_{Kern} \dots$ Kernquerschnitt [cm²]
 $A_{Sch} \dots$ Schaftquerschnitt [cm²]

Hochfeste vorgespannte Schraubenverbindungen

Übertragene Reibungskraft: $F_{R,zul} = \frac{1}{S} \cdot \mu \cdot F_V$

gleichzeitige axiale Zugbeanspruchung $F_{R,zul,red} = F_{R,zul} \cdot \left(1 - \frac{F_{axial}}{F_V} \right)$

maximal zulässige Zugkraft

$$F_{axial,max} = 0,8 \cdot F_V$$

$S \dots$ Sicherheitsbeiwert bei Lastfall H 1,25
HZ 1,10
 $\mu \dots$ Reibungsbeiwert 0,5–0,45 für saubere, sandbestreute Oberflächen
0,3 saubere, auf der Baustelle vorbereitete Oberflächen
 $F_V \dots$ Vorspannkraft $F_V = 0,8 \cdot f_y \cdot A$
 $f_y \dots$ Streckgrenze
 $A \dots$ Querschnitt Schraube

Trägerstoß

Flanschdeckung: $M_{Fl} = M \cdot \frac{l_{Fl}}{l_{ges}}$

$N_{Fl} = N \cdot \frac{A_{Fl}}{A_{ges}}$ $h_1 = H - 2 \cdot \frac{1}{2}$

Zug aus Flächenmoment

$$Z_{F1}' = \frac{M_{F1}}{h_1}$$

gesamte Kraft im Flansch:

$$F_{F1} = F_{F1}' + F_{F1}'' = \frac{M_{F1}}{h_1} + \frac{N_{F1}}{2}$$

Stegdeckung:

$$M_{St} = M \cdot \frac{I_{St}}{I_{ges}} + Q \cdot a$$

$$Q_V = \frac{Q}{n}$$

Kraft pro Schraube im Steg

$$Q_{max} = \sqrt{Q_V^2 + Q_H^2}$$

Zug aus Normalkraft im Flansch

$$Z_{F1}'' = \frac{N_{F1}}{2}$$

$$N_{St} = N \cdot \frac{A_{St}}{A_{ges}}$$

$$Q_H = \frac{N_{St}}{n} + \frac{M_{St} \cdot f}{h_{max}}$$

- a... Abstand Schraubenschwerpunkt - Rand
- n... Anzahl Laschen pro Stegglaschenhälfte
- f... Beiwert
- h_{max}... Abstand von oberster und unterster Schraubenachse

Beiwert f s. Tafel 66.

Tafel 66 f-Werte zur Berechnung des Stegblechstoßes

Bohrungen	einreihig	zweireihig		dreireihig		vierreihig	
größte Schraubenzahl in einer Reihe							
n ₁	f ₁	f _{2v}	f _{2p}	f _{3v}	f _{3p}	f _{4v}	f _{4p}
2	1,0000	1,0000	0,5000	0,5000	0,3333	0,5000	0,2500
3	1,0000	0,8000	0,5000	0,4444	0,3333	0,4000	0,2500
4	0,9000	0,6429	0,4500	0,3750	0,3000	0,3214	0,2250
5	0,8000	0,5333	0,4000	0,3200	0,2667	0,2667	0,2000
6	0,7143	0,4545	0,3571	0,2778	0,2381	0,2273	0,1786
7	0,6429	0,3956	0,3214	0,2449	0,2143	0,1978	0,1607
8	0,5833	0,3500	0,2917	0,2188	0,1944	0,1750	0,1458
9	0,5333	0,3137	0,2667	0,1975	0,1778	0,1569	0,1333
10	0,4909	0,2842	0,2455	0,1800	0,1636	0,1421	0,1227
Formeln für f-Werte	$\frac{6(n_1-1)}{n_1(n_1+1)}$	$\frac{6(n_1-1)}{n_1(2n_1-1)}$	$\frac{3(n_1-1)}{n_1(n_1+1)}$	$\frac{2(n_1-1)}{n_1^2}$	$\frac{2(n_1-1)}{n_1(n_1+1)}$	$\frac{3(n_1-1)}{n_1(2n_1-1)}$	$\frac{1,5(n_1-1)}{n_1(n_1+1)}$

Schweißverbindungen

Richtwerte:

$$a_W \leq 0,7 \cdot t_{min}$$

$$a_W \geq \sqrt{t_{max}} - 0,5 \geq 2 \text{ mm}$$

$$\sigma_W = \frac{F}{A_W} \leq \sigma_W$$

zusammengesetzte Beanspruchung:

$$\sigma_V = \sqrt{\sigma_W^2 + \tau_W^2 + \tau_{||}^2}$$

$$\tau_{W,zul} = \tau_{||,zul} = \sigma_{w,zul} = 13,5 \frac{kN}{cm^2}$$

- a... Schweißnahtdicke (-höhe)
- A_w... Querschnitt der Schweißfläche
- w... weld (eng) = schweißen; Schweißnaht, -stelle

Auflagerung von Unterzügen

Verteilungsbreite im Flansch:

$$a = s + 3,464 \cdot t + 1,464 \cdot r$$

$$c = t + r$$

mitwirkende Steglänge an Trägerkreuzung:

oberer Träger unterer Träger

$$l_{m,o} = a_u + 5 \cdot c_o \quad l_{m,u} = a_o + 5 \cdot c_u$$

mitwirkende Steglänge am Trägerende:

$$l_{m,E} = \ddot{u} + 2,5 \cdot c_o \text{ mit } \ddot{u} \leq 1,25 \cdot c_o$$

Spannung:

$$\sigma = \frac{C}{l_m \cdot s}$$

zul Spannung

$$\sigma_{zul} = \frac{\beta_s}{\gamma}$$

β_s... Streckgrenze

γ... Sicherheitsfaktor γ_H = 1,7

Auflagerung in einer Wand

$$a \approx \frac{h}{3} + 10 \text{ [cm]}$$

$$l_{m,E} = a + 2,5 \cdot c_o$$

Spannungen:

$$\sigma = \frac{C}{l_m \cdot s} \leq \sigma_{zul} = \frac{\beta_s}{\gamma}$$

$$\sigma_b = \frac{C}{a \cdot b} \leq \sigma_{b,zul}$$

Wendehorst - Bautechnische Zahlentafel - 28. Auflage

Kapitel Stahlbau.....671
 Träger HE-B.....682
 Schweißverbindungen.....786
 Schrauben.....795
 Nieten.....796

BETONBAU

Bemessung von Biegeträgern

Das K_H -Verfahren

Tab. BT 2a - Für Betonstahl BSt 420 (ohne Druckbewehrung)

B 15		B 25		B 35		B 45		B 55		k_s	σ_{su}/γ MN/m ²	k_x	k_z	$-\epsilon_{h1}$ ‰	ϵ_s ‰	
k_h	d_s	k_h	d_s	k_h	d_s	k_h	d_s	k_h	d_s							
9,09	2	7,04	3	6,14	3	5,67	4	5,38	5	4,3	240	0,09	0,97	0,50	5,00	
5,49	5	4,26	8	3,71	11	3,43	12	3,25	14	4,4		0,15	0,95	0,90		
4,09	9	3,19	16	2,78	21	2,57	24	2,43	27	4,5		0,21	0,93	1,32		
3,41	15	2,64	25	2,30	33	2,13	38	2,02	43	4,6	240	0,26	0,91	1,73	5,00	
3,03	21	2,34	35	2,04	45	1,89	53	1,79	57	4,7		0,30	0,89	2,14		
2,78	26	2,15	42	1,88	57	1,73		1,64		4,8		0,34	0,87	2,54		
2,61	32	2,02	54	1,77		1,63		1,55		4,9	240	0,37	0,85	2,95	5,00	
2,49	38	1,93		1,68		1,55		1,47		5,0		0,40	0,83	3,38		5,00
2,39	44	1,85		1,62		1,49		1,42		5,1		0,44	0,82	3,50		
2,32	50	1,80		1,57		1,45		1,37		5,2	240	0,48	0,80		3,83	
2,26	58	1,75		1,53		1,41		1,34		5,3		0,51	0,79		3,31	
$k_h^* = 2,22$		1,72		1,50		1,38		1,31		5,4		0,54	0,78		3,00	

Querschnitte von Balkenbewehrungen A_s in cm²

d_s in mm	Stabanzahl											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6	0,28	0,57	0,85	1,13	1,42	1,70	1,98	2,26	2,55	2,83	3,11	3,40
8	0,50	1,01	1,51	2,01	2,52	3,02	3,52	4,02	4,53	5,03	5,53	6,04
10	0,79	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,50	6,28	7,07	7,85	8,64	9,42
12	1,13	2,26	3,39	4,52	5,65	6,78	7,91	9,04	10,17	11,30	12,43	13,56
14	1,54	3,08	4,62	6,16	7,70	9,24	10,78	12,32	13,86	15,40	16,94	18,48
16	2,01	4,02	6,03	8,04	10,05	12,06	14,07	16,08	18,09	20,10	22,11	24,12
20	3,14	6,28	9,42	12,56	15,70	18,84	21,98	25,12	28,26	31,40	34,54	37,68
25	4,91	9,82	14,73	19,64	24,55	29,46	34,37	39,28	44,19	49,10	54,01	58,92
28	6,16	12,32	18,48	24,64	30,80	36,96	43,12	49,28	55,44	61,60	67,76	73,92

Größte Anzahl von Stahleinlagen in einer Lage ($b_0 = \text{Balkenbreite}$)

b_0 in cm	Durchmesser der Stahleinlagen d_s in mm						
	10	12	14	16	20	25	28
10	1	1	1	1	1	1	1
15	3	3	2	2	2	1	1
20	(5)	4	4	4	3	2	2
25	6	6	5	5	4	3	3
30	8	7	7	(7)	6	5	4
35	(10)	9	8	8	7	5	5
40	11	(11)	10	9	8	6	6
45	13	12	11	11	(10)	7	7
50	(15)	14	13	12	11	8	8
60	18	17	16	15	13	10	9
Ø Bügel	6 mm			8 mm		10 mm	

gebundene Bemessung:

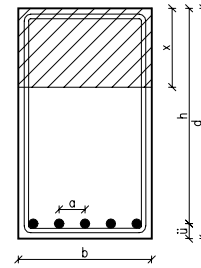
$$k_h = \frac{h}{\sqrt{\frac{M}{b}}}$$

$$A_{s, \text{erf}} = k_s \cdot \frac{M}{h} \cdot \left[\frac{500}{420} \right]$$

h... statische Nutzhöhe in cm
M... Moment in kNm
b... Breite Träger in m

A_s ... Querschnittsfläche der Stahleinlagen in cm²
 k_s ... aus Tabelle

freie Bemessung:



$$h = k_h \cdot \sqrt{\frac{M}{b}}$$

$$b = \frac{k_h^2}{h^2} \cdot M$$

optimale Ausnutzung

$$\epsilon_b \approx -3,38 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_s \approx 5 \text{ ‰}$$

$$M = \frac{b \cdot h^2}{k_h^2}$$

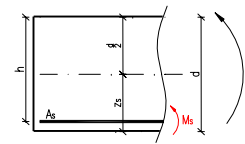
$$d = h + \bar{u}$$

\bar{u} ... Abstand Stahleinlagenschwerpunkt und Trägerunterkante

$$a \geq 2 \text{ cm oder } a \geq \bar{\phi}_{\text{Stahl}}$$

a... lichter Abstand der Stahleinlagen

Biegung mit Normalkraft



$$M_s = M - N \cdot z_s$$

$$k_h = \frac{h}{\sqrt{\frac{M_s}{b}}}$$

$$A_{s, \text{erf}} = k_s \cdot \frac{M_s}{h} \cdot \left[\frac{500}{420} \right] + \frac{10 \cdot N}{\sigma_{su}/\gamma}$$

N... Normalkraft (bei Zug positiv; bei Druck negativ)

M_s ... Moment bezogen auf Stahleinlage

z_s ... Abstand Nullfaser - Schwerpunkt Stahleinlagen

$$z_s = h - \frac{d}{2}$$

h... statische Nutzhöhe in cm

M_s ... Moment in kNm

b... Breite Träger in m

A_s ... Querschnittsfläche in cm²

N... Normalkraft in kN

β_s ... Spannung des Stahls bei $\epsilon = -5 \text{ ‰}$ (bei BSt 420 $\beta_s = 420 \text{ MN/m}^2$)

γ ... Sicherheitsbeiwert, bei Biegung 1,75

für BSt 420 folgt:

$$\frac{\beta_s}{\gamma} = \frac{420 \text{ MN/cm}^2}{1,75} = 240 \text{ MN/m}^2 = 24 \text{ kN/cm}^2$$

Biegung mit Druckbewehrung

$$M_s = M - N \cdot z_s$$

$$k_h = \frac{h}{\sqrt{\frac{M_s}{b}}}$$

Druckbewehrung notwendig

$$k_h \leq k_h^* \rightarrow k_s \text{ und } k_{s1} \text{ aus BT 3}$$

$$d_1/h \rightarrow \text{aus BT 3:}$$

ρ = Faktor für A_{s2}
 ρ_1 = Faktor für A_{s1}

$$A_{s1} = k_s \cdot \frac{M_s}{h} \cdot \rho_1 \cdot \left[\frac{500}{420} \right]$$

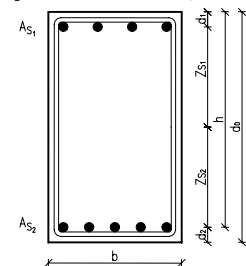
$$A_{s2} = k_s \cdot \frac{M_s}{h} \cdot \rho \cdot \left[\frac{500}{420} \right] + \frac{10 \cdot N}{\beta_s/\gamma}$$

a) wenn $k_h \geq k_h^*$ normale Bemessung

b) wenn $k_h \leq k_h^*$ Druckbewehrung notwendig

A_{s1} ... erforderliche Druckbewehrung

A_{s2} ... erforderliche Zugbewehrung



Tab. BT 2b - Für Betonstahl BSt 420 (Druckbewehrung)

B15	B25	B35	B45	B55	k_s	k_{s1}	d_1/h	ρ für $k_s =$					ρ_1 für alle k_s	
								5,4	5,3	5,2	5,1	5,0		4,9
							k_h							
$k_h = 2,22$	1,72	1,50	1,38	1,31	5,4	0,0	0,07	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2,19	1,70	1,48	1,37	1,30	5,3	0,1	0,08	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,03
2,17	1,68	1,46	1,35	1,28	5,3	0,2	0,10	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01	1,03
2,14	1,66	1,45	1,34	1,27	5,3	0,3	0,12	1,00	1,00	1,01	1,02	1,03	1,03	1,06
2,12	1,64	1,43	1,32	1,25	5,3	0,4	0,14	1,00	1,00	1,02	1,03	1,04	1,04	1,08
2,09	1,62	1,41	1,30	1,24	5,3	0,5	0,16			1,03	1,04	1,05	1,05	1,11
2,07	1,60	1,40	1,29	1,22	5,3	0,6	0,18			1,02	1,03	1,05	1,06	1,13
2,04	1,58	1,38	1,27	1,21	5,2	0,7	0,20	1,00	1,00	1,02	1,04	1,05	1,07	1,16
2,01	1,56	1,36	1,25	1,19	5,2	0,8	0,22			1,03	1,04	1,06	1,09	1,19
1,98	1,54	1,34	1,24	1,17	5,2	0,9								
1,96	1,52	1,32	1,22	1,16	5,2	1,0								
1,93	1,49	1,30	1,20	1,14	5,2	1,1								
1,90	1,47	1,28	1,18	1,12	5,1	1,2								
1,87	1,45	1,26	1,17	1,10	5,1	1,3								
1,84	1,43	1,24	1,15	1,09	5,1	1,4								
1,81	1,40	1,22	1,13	1,07	5,1	1,5								
1,78	1,38	1,20	1,11	1,05	5,1	1,6								
1,75	1,35	1,18	1,09	1,03	5,0	1,7								
1,72	1,33	1,16	1,07	1,02	5,0	1,8								
1,68	1,30	1,14	1,05	1,00	5,0	1,9								
1,65	1,28	1,12	1,03	0,98	5,0	2,0								
1,62	1,25	1,09	1,01	0,96	5,0	2,1								
1,55	1,20	1,05	0,96	0,92	4,9	2,3								
1,48	1,14	1,00	0,92	0,87	4,9	2,5								

Berechnung von Plattenbalken

$x = h \cdot k_x$

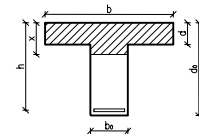
$k_x \dots$ aus Tabelle BT 2
 $x \dots$ Höhe der Betondruckzone

$x \leq d \rightarrow$ Berechnung wie Rechteckbalken mit Breite b
 $x \geq d \rightarrow$ Berechnung als Plattenbalken

mechanischer Bewehrungsgrad ω_M

$$m_s = \frac{M_s}{b \cdot h^2 \cdot \beta_R}$$

	β_s/β_R					β_s/γ [$\frac{MN}{m^2}$]
BSt	B15	B25	B35	B45	B55	240
BSt 420	40,0	24,0	18,3	15,6	14,0	240
BSt 500	47,6	28,6	21,7	18,5	16,7	286
β_R	10,5	17,5	23	27	30	



Faktor $\frac{d}{h}$
 aus Tabelle $1000 \cdot \omega_M \Rightarrow \omega_M$

$$A_{s, \text{erf}} = \omega_M \cdot \frac{b \cdot h}{\beta_s/\beta_R} + \frac{N}{\beta_s/\gamma}$$

Faktor $\frac{b}{b_0}$
 $b \dots$ Breite Träger in m
 $h \dots$ statische Nutzhöhe in m
 $N \dots$ Normalkraft in MN
 $A_{s, \dots}$ Querschnittsfläche in m^2
 $\beta_s/\beta_R \dots$ aus Tabelle
 $\beta_s/\gamma \dots$ $\beta_s/\gamma = 240 \frac{MN}{m^2}$ für BSt 420
 $\gamma \dots$ Sicherheitsfaktor 1,75

Mechanischer Bewehrungsgrad 1000 ω

m_s	$d/h=0,05$					$d/h=0,10$					$d/h=0,15$				
	10	5	3	2	1	10	5	3	2	1	10	5	3	2	1
0,01	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
0,02	26	36	36	36	37	36	36	36	36	37	37	37	37	37	37
0,03	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
0,04	76	75	75	75	75	74	74	74	74	74	74	74	74	74	75
0,05		97	95	94	94	93	93	93	94	94	94	94	94	94	94
0,06		124	117	115	114	112	113	113	113	114	114	113	113	113	114
0,07			141	137	134		134	133	134	134	132	133	133	133	133
0,08			169	160	154		161	156	155	154	152	153	153	153	154
0,09				184	175			181	177	175	176	174	174	175	175
0,10				211	218			201	201	197		201	197	197	197
0,11				241	241			218	218	218		224	224	220	218
0,12					264			241	241	241				246	247
0,13					288									274	264
0,14					313									288	288
0,15														313	313
0,16															339
0,17															367
0,18															395
0,19															426
$m_s^2 =$	0,044	0,061	0,083	0,111	0,193	0,068	0,082	0,101	0,124	0,193	0,091	0,102	0,117	0,136	0,193
$1000 \omega_M =$	89	127	179	243	436	134	167	212	268	436	179	207	245	293	436
m_s	$d/h=0,20$					$d/h=0,30$					$d/h=0,40$				
	10	5	3	2	1	10	5	3	2	1	10	5	3	2	1
0,01	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
0,02	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
0,03	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
0,04	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
0,05	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94
0,06	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114
0,07	134	134	134	134	134	134	134	134	134	134	134	134	134	134	134
0,08	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154
0,09	174	174	174	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175
0,10	195	195	195	196	197	197	197	197	197	197	197	197	197	197	197
0,11	218	217	217	218	218	218	218	218	218	218	218	218	218	218	218
0,12		244	241	241	241	241	241	241	241	241	241	241	241	241	241
0,13			269	266	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264
0,14				293	288	287	287	287	288	288	288	288	288	288	288
0,15					313	312	312	312	313	313	313	313	313	313	313
0,16									341	340	339	339	339	339	339
0,17											367	366	366	366	367
0,18												397	397	397	395
0,19															426
$m_s^2 =$	0,112	0,121	0,133	0,148	0,193	0,150	0,155	0,161	0,169	0,193	0,178	0,180	0,182	0,185	0,193
$1000 \omega_M =$	224	247	279	318	436	312	326	345	367	436	388	394	401	409	436

Schubbewehrung

Maßgebende Querkraft

$Q' = |Q| - q \cdot r$

$r \dots$ Abhängig von Lagerung:

direkte Lagerung (Wände):

$r = \frac{1}{3} \cdot t + \frac{1}{2} \cdot h \rightarrow$ Endauflager

$r = \frac{1}{2} \cdot t + \frac{1}{2} \cdot h \rightarrow$ Mittelaullager oder eingespanntes Endauflager

indirekte Lagerung (Unterzug):

$r = \frac{1}{3} \cdot t \rightarrow$ Endauflager

$r = \frac{1}{2} \cdot t \rightarrow$ Mittelaullager oder eingespanntes Endauflager

Schubspannungen

$\tau = \frac{Q}{b \cdot z}$ da $\tau = \frac{Q \cdot S}{b \cdot I}$ bei $z = \frac{I}{S}$

Maximale Schubspannung

$\max \tau_0 = \frac{Q'}{b_{\min} \cdot z}$

innerer Hebelarm

a) *bei Rechteckquerschnitten*

$z \geq 0,85 \cdot h$

b) *bei Rechteckquerschnitten mit geringer Biegebeanspruchung*

$z \geq 0,9 \cdot h$

c) *bei Plattenbalkenquerschnitten*

$z \geq h - \frac{d}{2}$

$Q' \dots$ maßgebende Querkraft

Grundwerte der Schubspannung

Grenzen für Grundwerte der Schubspannung - τ_0 in N/mm^2

Zeile	Bauteile	Schubbereich	Grenzen für Grundwerte der Schubspannung τ_0 in N/mm^2 für die Festigkeitsklasse des Betons					Nachweis der Schubdeckung	Schubdeckung durch Bewehrung	
			B15	B25	B35	B45	B55			
1a	Platten (wenn $b > 5h$)	1	τ_{011a}	0,25	0,35	0,40	0,50	0,55	Nachweis nicht erforderlich	keine Schubbewehrung erforderlich (gestaffelte Bewehrung zulässig)
1b		1	τ_{011b}	0,35	0,50	0,60	0,70	0,80	Nachweis nicht erforderlich	keine Schubbewehrung erforderlich (gestaffelte Bewehrung nicht zulässig)
2a		2	$0,5 \tau_{02}$	0,60	0,90	1,20	1,35	1,50	Nachweis erforderlich	verminderte Schubdeckung (ohne Bügelbewehrung zulässig)
2b		2	τ_{02}	1,20	1,80	2,40	2,70	3,00	Nachweis erforderlich	verminderte Schubdeckung Bügelbewehrung erforderlich (wie bei Balken)
3		Balken und Plattenbalken	1	τ_{012}	0,50	0,75	1,00	1,10	1,25	Nachweis nicht erforderlich
4	Plattenbalken	2	τ_{02}	1,20	1,80	2,40	2,70	3,00	Nachweis erforderlich	verminderte Schubdeckung
5		3	τ_{03}	2,00	3,00	4,00	4,50	5,00	Nachweis erforderlich	volle Schubdeckung für $\max \tau_0$ nur bei d bzw. $d_0 \geq 30cm$

Erforderliche Schubbewehrung

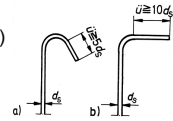
$$A_{St} = \frac{\tau \cdot b_0 \cdot l_{\tau}}{\sigma_{St}}$$

für Schrägstäbe mit 45° Aufbiegung

$$A_{St} = \frac{\tau \cdot b_0 \cdot l_{\tau}}{\sigma_{St} \cdot \sqrt{2}}$$

Bügel

geschlossene Bügel mit Haken a)
geschlossene Bügel mit Winkelhaken b)



Nennwerte von Betonstahl BSt 420, BSt 500

Nenn Durchmesser d_s in mm	Nennquerschnitt A_s in cm^2	Nenngewicht g in kg/m	Nenn Durchmesser d_s in mm	Nennquerschnitt A_s in cm^2	Nenngewicht g in kg/m
4,0	0,126	0,099	9,5	0,709	0,556
4,5	0,159	0,125	10,0	0,785	0,617
5,0	0,196	0,154	10,5	0,866	0,680
5,5	0,238	0,187	11,0	0,950	0,746
6,0	0,283	0,222	11,5	1,039	0,815
6,5	0,332	0,260	12,0	1,131	0,888
7,0	0,385	0,302	14,0	1,54	1,21
7,5	0,442	0,347	16,0	2,01	1,58
8,0	0,503	0,395	20,0	3,14	2,47
8,5	0,567	0,445	25,0	4,91	3,85
9,0	0,636	0,499	28,0	6,16	4,83

Mindestbügelbewehrung

$$\tau_{Bü} \geq 0,25 \cdot \max \tau_0$$

$\tau_{Bü} \dots$ den Bügel zugeordnete Schubspannung

$$a_{S \text{ Bü}} = \frac{\tau_{Bü} \cdot b_0}{\sigma_{Bü}}$$

$a_{S \text{ Bü}} \dots$ erforderliche Bügelbewehrung / m im Balken

Bügelbewehrung

$$\Rightarrow e = \frac{m \cdot A_S}{a_{S \text{ Bü}}}$$

m... Schnittigkeit
 $A_S \dots$ Querschnittfläche des Bügels
 $a_{S \text{ Bü}} \dots$ erforderliche Bügelbewehrung in cm^2/m

$$\Rightarrow a_{S \text{ Bü}} = \frac{m \cdot A_S}{e}$$

e... Abstand der Bügel in m

Zusammenstellung der Formeln für die Schubbemessung bei Balken

	erforderliche Nachweise	Schubbereich 1	Schubbereich 2	Schubbereich 3
1	vorhandene maximale Schubspannung	$\max \tau_0 \leq \tau_{012}$	$\max \tau_0 \leq \tau_{02}$	$\max \tau_0 \leq \tau_{03}$
2	Schubspannung für Mindest-Bügelbewehrung	$\tau_{Bü} \geq 0,25 \cdot \max \tau_0$		
3	konstruktive Mindest-Bügelbewehrung aus BSt 420	$\min a_{S \text{ Bü}} \geq 10,4 \cdot b_0 \cdot \max \tau_0$		
	aus BSt 500	$\min a_{S \text{ Bü}} \geq 8,7 \cdot b_0 \cdot \max \tau_0$		
4	Länge des Bereichs für Mindest-Bügelbewehrung	über die ganze Feldlänge $l_{Bü} = l$	ab Querkraft-Nullpunkt nach beiden Seiten: $l_{Bü(\min)} \leq l_E + (l/2 - r) \cdot \sqrt{\tau_{Bü}/\tau}$ mit $\tau_{Bü} = a_{S \text{ Bü}}/41,7 \cdot b_0$ bei Bügeln aus BSt 420 mit $\tau_{Bü} = a_{S \text{ Bü}}/35,0 \cdot b_0$ bei Bügeln aus BSt 500	
5	Schubspannung zur Bemessung	-	$\tau = \max \tau_0' / \tau_{02} \geq 0,4 \max \tau_0$ $\tau' = \tau - [q/(900 \cdot b_0)]$	$\tau = \max \tau_0 - [q/(1800 \cdot b_0)]$
6	erforderliche Bügelbewehrung aus BSt 420	$\text{erf } a_{S \text{ Bü}2} \geq 16,7 \cdot b_0 \cdot \max \tau_0$	$\text{erf } a_{S \text{ Bü}2} \geq 41,7 \cdot b_0 \cdot \tau'$	Möglichkeit 1: Volldeckung durch Bügel + evtl. Schubleitern $\text{erf } a_{S \text{ Bü}3} \geq 41,7 \cdot b_0 \cdot \tau'$
	aus BSt 500	$\text{erf } a_{S \text{ Bü}1} \geq 14,0 \cdot b_0 \cdot \max \tau_0$	$\text{erf } a_{S \text{ Bü}2} \geq 35,0 \cdot b_0 \cdot \tau'$	$\text{erf } a_{S \text{ Bü}3} \geq 35,0 \cdot b_0 \cdot \tau'$
7	erforderliche Aufbiegungen aus BSt 420	entfällt bei Bügelbewehrung nach Zeile 6		Möglichkeit 2: Volldeckung durch Bügel + Schrägstäbe $\text{erf } A_{Sg} \geq 14,7 \cdot l_s \cdot b \cdot \tau_s$ mit $\tau_s = \max \tau_0 - [a_{S \text{ Bü}}/(41,7 \cdot b_0)]$
	aus BSt 500			$\text{erf } A_{Sg} \geq 12,4 \cdot l_s \cdot b_0 \cdot \tau_s$ mit $\tau_s = \max \tau_0 - [a_{S \text{ Bü}}/(35,0 \cdot b_0)]$ mit $a_{S \text{ Bü}} \geq \min a_{S \text{ Bü}}$

Höchstabstände der Bügel

Abstände der Bügel $s_{Bü}$ in Richtung der Biegezugbewehrung (Längsrichtung)	
Art des Bauteils und Höhe der Schubbeanspruchung	Bemessungsspannung der Schubbewehrung $\sigma_s \leq 240 N/mm^2$ (BSt III) $\sigma_s = 286 N/mm^2$ (BSt IV)
Schubbereich 1	$0,8 d_0$ bzw. 30 cm^1 $0,8 d_0$ bzw. 25 cm^1
Schubbereich 2	$0,6 d_0$ bzw. 25 cm $0,6 d_0$ bzw. 20 cm
Schubbereich 3	$0,3 d_0$ bzw. 20 cm^2 $0,3 d_0$ bzw. 15 cm^2
Abstand der Bügelchenkel $s_{Büq}$ quer zur Biegezugbewehrung (Querrichtung)	
Bauteildicke d bzw. $d_0 \leq 40 \text{ cm}$	40 cm
Bauteildicke d bzw. $d_0 > 40 \text{ cm}$	d oder d_0 bzw. 80 cm

¹⁾ Bei Balken mit $d_0 < 20 \text{ cm}$ und $\tau_0 \leq \tau_{011}$ braucht der Abstand nicht kleiner als 15 cm zu sein.
²⁾ Die Bügelabstände gelten im ganzen zugehörigen Querkraftbereich gleichen Vorzeichens.

Schubbewehrung im Feld

$$\max \tau_0 = \frac{Q'}{b \cdot z}$$

$$\tau_{Bü} = \frac{\tau_0^2}{\text{zul } \tau_{02}}$$

$$\tau = \frac{\max \tau_0^2}{\text{zul } \tau_{02}}$$

$$\tau_Q = \sqrt{\tau_{Bü} \cdot \text{zul } \tau_{02}}$$

$$a_{S \text{ Bü}} = \frac{\tau_{Bü} \cdot b_0}{\sigma_{St}}$$

$$\tau_Q = \frac{Q}{b \cdot z}$$

$$\Rightarrow \tau_{Bü} = \frac{a_{S \text{ Bü}} \cdot \sigma_{ST}}{b_0}$$

$$Q = \tau_Q \cdot b \cdot z$$

Schubbemessung für Stahlbetonbalken

Schubbereich 1

max $\tau_0 \leq \tau_{012}$

$$\tau_{Bü,1} \geq 0,4 \cdot \max \tau_0$$

- Mindest-Bügelbewehrung*
- für B_{St} 420 ($\sigma_{St} = 240 \text{ N/mm}^2$)
min $a_{SBü} \geq 10,4 \cdot b_0 \cdot \max \tau_0$
 - für B_{St} 500 ($\sigma_{St} = 286 \text{ N/mm}^2$)
min $a_{SBü} \geq 8,7 \cdot b_0 \cdot \max \tau_0$

$b_0 \dots$ in m
 $\tau_0 \dots$ in $\frac{\text{N}}{\text{cm}^2 \cdot \text{m}}$
 $a_{SBü} \dots$ in $\frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$

- Erforderliche Bügelbewehrung als Schubbewehrung*
- für B_{St} 420 ($\sigma_{St} = 240 \text{ N/mm}^2$)
erf $a_{SBü} \geq 16,7 \cdot b_0 \cdot \max \tau_0$
 - für B_{St} 500 ($\sigma_{St} = 286 \text{ N/mm}^2$)
erf $a_{SBü} \geq 14,0 \cdot b_0 \cdot \max \tau_0$

Schubbereich 2

max $\tau_0 \leq \tau_{02}$

$$\tau \geq \frac{\max \tau_0^2}{\tau_{02}} \geq 0,4 \cdot \max \tau_0$$

$\tau \dots$ verminderte Schubspannung

Mindest-Bügelbewehrung siehe *Schubbereich 1*

- Erforderliche Schubbewehrung aus Bügeln*
- für B_{St} 420 ($\sigma_{St} = 240 \text{ N/mm}^2$)
erf $a_{SBü} \geq 41,7 \cdot b_0 \cdot \tau$
 - für B_{St} 500 ($\sigma_{St} = 286 \text{ N/mm}^2$)
erf $a_{SBü} \geq 35,0 \cdot b_0 \cdot \tau$

$b_0 \dots$ in m
 $\tau_0 \dots$ in $\frac{\text{N}}{\text{cm}^2 \cdot \text{m}}$
 $a_{SBü} \dots$ in $\frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$

Schubbereich 3

max $\tau_0 > \tau_{02} \leq \tau_{03}$

$$\tau = \max \tau_0 = \frac{Q'}{b_0 \cdot z}$$

Mindest-Bügelbewehrung siehe *Schubbereich 1*

- Erforderliche Schubbewehrung aus Bügeln*
- für B_{St} 420 ($\sigma_{St} = 240 \text{ N/mm}^2$)
erf $a_{SBü} \geq 41,7 \cdot b_0 \cdot \tau$
 - für B_{St} 500 ($\sigma_{St} = 286 \text{ N/mm}^2$)
erf $a_{SBü} \geq 35,0 \cdot b_0 \cdot \tau$

$b_0 \dots$ in m
 $\tau_0 \dots$ in $\frac{\text{N}}{\text{cm}^2 \cdot \text{m}}$
 $a_{SBü} \dots$ in $\frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$

Schubbewehrung mit Schrägstäben

$$\tau_S = \max \tau_0 - \tau_{Bü}$$

$$A_{SS, \text{erf}} = \frac{\tau_S \cdot b_0 \cdot l_S}{\alpha_{s/1} \cdot \sqrt{2} \cdot 2}$$

$$= 14,7 \cdot l_S \cdot b_0 \cdot \tau_S$$

$$l_S = \frac{\tau_S \cdot l}{2 \cdot \max \tau_0}$$

$\tau_S \dots$ Schubspannung in Schrägstab
 $\tau_{Bü} \dots$ Schubspannung in Bügel
 $l_S \dots$ Länge die mit Schrägstäben abgedeckt wird

$$\tau_S = \sqrt{\frac{2 \cdot A_{SS, \text{vorh}} \cdot \max \tau_0}{14,7 \cdot l \cdot b_0}}$$

Schubbemessung für Stahlbetonplatten

Stahlbetonplatte $\rightarrow b \geq 5 \cdot d$

Schubbereich 1 Zeile 1a

max $\tau_0 \leq \tau_{011a}$

keine Schubbewehrung erforderlich

Schubbereich 1 Zeile 1b

max $\tau_0 \leq \tau_{011b}$

$d \leq 30 \text{ cm}$

keine Schubbewehrung erforderlich, eine Staffelung der Zugbewehrung ist nicht zulässig

$d \geq 30 \text{ cm}$

auf Schubbewehrung kann verzichtet werden, wenn folgende Gleichung erfüllt wird

$$\max \tau_0 \leq k_1 \cdot \tau_{011b} \quad \text{bzw.} \quad \max \tau_0 \leq k_2 \cdot \tau_{011b}$$

$k_1 \dots$ wenn M_{max} und Q_{max} zusammenfallen $k_2 \dots$ restliche Fälle
 \rightarrow an Kragarmen und an Endauflagern \rightarrow Endauflagern

$$k_1 = \frac{0,2}{d} + 0,33 \geq 0,5 \text{ bzw. } \leq 0,1$$

$$k_2 = \frac{0,12}{d} + 0,6 \geq 0,7 \text{ bzw. } \leq 0,1$$

Schubbereich 2

Nachweis der Schubdeckung erforderlich, aber nicht wirtschaftlich

\rightarrow Querschnittsabmessungen vergrößern

Querschnitte von Plattenbewehrungen a_S in $\frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$ $s = \text{Stababstand}$ $n = \text{Stabzahl}$

s in cm	Stabdurchmesser d_s in mm										n je m
	6	8	10	12	14	16	20	25	28		
7,5	3,77	6,70	10,47	15,08	20,52	26,81	41,9	65,4	82,1	13,3	
8,0	3,53	6,28	9,82	14,14	19,24	25,1	39,3	61,4	77,0	12,5	
8,5	3,33	5,91	9,24	13,31	18,11	23,7	37,0	57,9	72,5	11,8	
9,0	3,14	5,59	8,73	12,57	17,10	22,34	34,9	54,5	68,4	11,1	
9,5	2,98	5,29	8,27	11,90	16,20	21,2	33,1	51,6	64,8	10,5	
10,0	2,83	5,03	7,85	11,31	15,39	20,1	31,4	49,1	61,6	10,0	
10,5	2,69	4,79	7,48	10,77	14,66	19,15	29,9	46,6	58,7	9,5	
11,0	2,57	4,57	7,14	10,28	13,99	18,28	28,6	44,7	56,0	9,1	
11,5	2,46	4,37	6,83	9,84	13,39	17,49	27,3	42,7	53,6	8,7	
12,0	2,36	4,19	6,54	9,42	12,83	16,76	26,2	40,8	51,3	8,3	
12,5	2,26	4,02	6,28	9,05	12,32	16,09	25,1	39,3	49,3	8,0	
13,0	2,17	3,87	6,04	8,70	11,84	15,47	24,2	37,8	47,4	7,7	
13,5	2,09	3,72	5,82	8,38	11,40	14,90	23,3	36,3	45,6	7,4	
14,0	2,02	3,59	5,61	8,08	11,00	14,36	22,4	34,9	44,0	7,1	
14,5	1,95	3,47	5,42	7,80	10,62	13,87	21,7	33,9	42,5	6,9	
15,0	1,89	3,35	5,24	7,54	10,26	13,41	20,9	32,9	41,1	6,7	
15,5	1,82	3,24	5,07	7,30	9,93	12,97	20,3	31,9	39,7	6,5	
16,0	1,77	3,14	4,91	7,07	9,62	12,57	19,64	30,9	38,5	6,3	
16,5	1,71	3,05	4,76	6,85	9,23	12,19	19,04	30,0	37,3	6,1	
17,0	1,66	2,96	4,62	6,65	9,05	11,83	18,48	29,0	36,2	5,9	
17,5	1,62	2,87	4,49	6,46	8,79	11,49	17,95	27,0	35,2	5,7	
18,0	1,57	2,79	4,36	6,28	8,55	11,17	17,46	27,5	34,2	5,6	
18,5	1,53	2,72	4,25	6,11	8,32	10,87	16,94	26,5	33,3	5,4	
19,0	1,49	2,65	4,13	5,95	8,10	10,58	16,54	26,0	32,4	5,3	
19,5	1,45	2,58	4,03	5,80	7,89	10,31	16,11	25,0	31,6	5,1	
20,0	1,41	2,51	3,93	5,65	7,69	10,05	15,72	24,6	30,8	5,0	
20,5	1,38	2,45	3,83	5,52	7,50	9,80	15,32	23,9	30,0	4,9	
21,0	1,35	2,39	3,74	5,39	7,33	9,57	14,96	23,4	29,3	4,8	
21,5	1,32	2,34	3,65	5,26	7,16	9,35	14,61	22,8	28,6	4,6	
22,0	1,29	2,28	3,57	5,14	7,00	9,14	14,28	22,3	28,0	4,5	
22,5	1,26	2,23	3,49	5,03	6,84	8,94	13,96	21,6	27,4	4,4	
23,0	1,23	2,19	3,41	4,92	6,69	8,74	13,66	21,3	26,8	4,3	
23,5	1,20	2,14	3,34	4,81	6,55	8,56	13,37	20,9	26,2	4,2	
24,0	1,18	2,09	3,27	4,71	6,41	8,38	13,09	20,4	25,7	4,2	
24,5	1,15	2,05	3,21	4,61	6,28	8,21	12,82	20,0	25,1	4,1	
25,0	1,13	2,01	3,14	4,52	6,16	8,04	12,57	19,6	24,6	4,0	

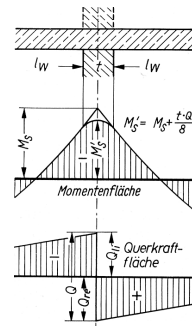
max $s = 15 + d/10$ ($d = \text{Plattendicke}$ in cm) Querbewehrung: $a_{sq} = a_s/5$
min $a_{sq} = 3 \text{ } \varnothing 6/\text{m}$ bei Betonstahl III S und IV S, $3 \text{ } \varnothing 4,5/\text{m}$ bei Betonstahlmatten IV M

Momentenausrundung bei Stützmomenten

Auflagerung auf Mauerwerk

$$M'_s = M_s + \frac{t \cdot Q}{8}$$

$$Q = Q_{Li} + Q_{Re} \dots \text{Auflagerreaktion}$$

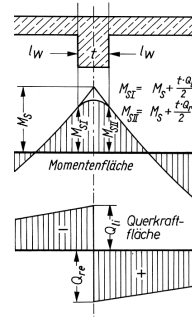


Auflagerung auf Stahlbetonbalken oder biegesteifen Anschluss

$$M_{Si} = M_s + \frac{t}{2} \cdot Q_{Li}$$

$$M_{Sii} = M_s + \frac{t}{2} \cdot Q_{Re}$$

$$Q = Q_{Li} + Q_{Re} \dots \text{Auflagerreaktion}$$



Zugkraftdeckung

M/Z - Linie

$$Z = \frac{M}{Z}$$

$z = k_z \cdot h$ aus Tab. BT 2a oder $0,85 \cdot h$ bzw. $0,9 \cdot h$

Zugkraftlinie Z_s

M/Z - Linie verschoben um Versatzmaß v

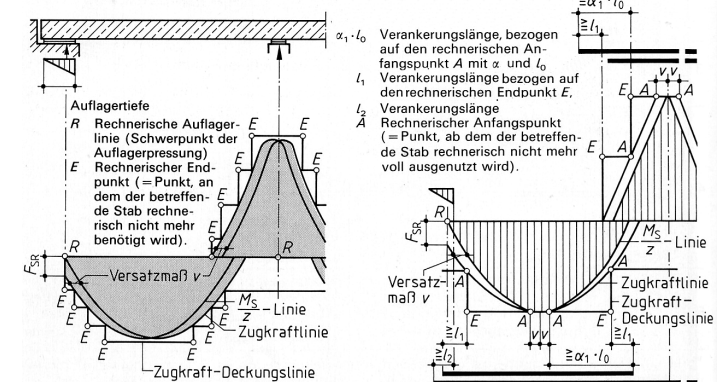
Versatzmaß v

Schubsicherung durch	Versatzmaß v bei			
	Balken im Schubbereich			Platten im Schubbereich
	1	2	3	1 2
Schrägbügel $s \leq 0,25 \cdot h$	$0,75 \cdot h$	$0,50 \cdot h$	$0,25 \cdot h$	$0,50 \cdot h$
Schrägbügel $s > 0,25 \cdot h$	$0,75 \cdot h$	$0,75 \cdot h$	$0,50 \cdot h$	$0,75 \cdot h$
Aufgebogene Stäbe allein	nicht zulässig!			$0,75 \cdot h$
Aufgebogene und lotrechte Bügel	$0,75 \cdot h$	$0,75 \cdot h$	$0,50 \cdot h$	$0,75 \cdot h$
Lotrechte Bügel allein	$0,75 \cdot h$	$1,00 \cdot h$	$0,75 \cdot h$	$1,00 \cdot h$
Kein Nachweis d. Schubbewehrung	$0,75 \cdot h$	nicht zulässig!		$0,75 \cdot h$
Bauteile ohne Schubbewehrung	im allg. nicht zulässig!			$1,00 \cdot h$

Bei „voller Schubdeckung“ gelten immer die Werte des Schubbereiches 3

„schräg“: Neigungswinkel zwischen Bauteilachse und Schubbewehrung 45° bis 60° , „annähernd rechtwinklig“: Neigungswinkel zwischen Bauteilachse und Schubbewehrung mehr als 60° .

Zugkraftdeckung



Beispiel für eine Zugkraftdeckungslinie bei Biegung ohne Längskraft

Beispiel für eine gestaffelte Bewehrung bei Platten mit Bewehrungsstäben $d_s < 16$ mm bei Biegung ohne Längskraft

Zugkraftdeckungslinie aus gewählter Bewehrung

$$Z_{vorh} = A_{vorh} \cdot \alpha_{zul}$$

Zugkraft am Endauflager

$$Z_{SR} = Q_R \cdot \frac{v}{h} + N$$

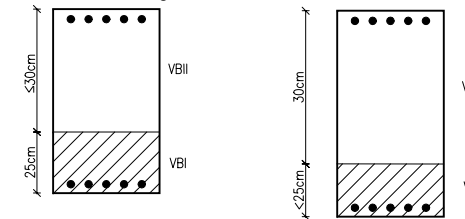
$Q_R \dots$ Querkraft am Endauflager
 $v \dots$ Versatzmaß

mindestens $1/3$ der größten Feldbewehrung muss im Auflager vorhanden sein

Verbundbereiche

Verbundbereich I (guter Verbund)

- Stäbe die beim Betonieren zwischen 45° und 90° gegen die Waagrechte geneigt sind
- Stäbe die flacher als 45° geneigt sind, wenn sie beim Betonieren höchstens 25 cm über der Frischbetonunterseite liegen oder mindestens 30 cm unter der freien Betonunterseite liegen



Verbundbereich II (mäßiger Verbund)

- Stäbe, die nicht dem Verbundbereich I zuzuordnen sind
- alle horizontalen Stäbe beim Gleitschalungsverfahren

Verankerung

$$l_1 = \alpha_1 \cdot \frac{A_{S,erf}}{A_{S,vorh}} \cdot l_0 \geq 10 \cdot d_s$$

$d_s \dots$ Durchmesser Stab
 $\alpha_1 \dots$ gerade Stabenden $\alpha_1 = 1$
Haken (bei Zugstäben) $\alpha_1 = 0,7$
 $l_0 \dots$ Grundmaß der Verankerungslänge

Grundmaß der Verankerungslänge l_0 in cm für Bst 420 S

Nenn Durchmesser d_s in mm	Verbundbereich	Betonfestigkeitsklasse				
		B 15	B 25	B 35	B 45	B 55
6	I	$43 d_s$	$33,5 d_s$	$27,5 d_s$	$23 d_s$	$20 d_s$
	II	$86 d_s$	$67 d_s$	$55 d_s$	$46 d_s$	$40 d_s$
8	I	26	20	17	14	12
	II	52	40	33	28	24
10	I	35	27	22	18	16
	II	69	54	44	37	32
12	I	43	34	28	23	20
	II	86	67	55	46	40
14	I	52	40	33	28	24
	II	103	80	66	55	48
16	I	60	47	39	32	28
	II	120	94	77	64	56
20	I	69	54	44	37	32
	II	138	107	88	74	64
25	I	86	67	55	46	40
	II	172	134	110	92	80
28	I	108	84	69	58	50
	II	215	167	137	115	100
28	I	120	94	77	64	56
	II	241	188	154	129	112

Bewehrung hinter der Auflagervorderkante:

$l_2 = \frac{2}{3} \cdot l_1 \geq 6 \cdot d_s \rightarrow$ direkte Auflagerung

$l_3 = l_1 \geq 10 \cdot d_s \rightarrow$ indirekte Auflagerung

Stahlbetondecken

- 2-achsig gespannte Decken
- 1-achsig gespannte Decken

Berechnung mittels finiter Elemente

als Rechteck oder Plattenbalken bemessen

Schlankheit: $\frac{l}{d} \leq 25$ Mehrfeldträger $\frac{l}{d} \leq 30$

Aufbetondicke: ≥ 4 cm $d \leq 25$ cm
 ≥ 5 cm $d > 25$ cm

Rippenbreite: ≥ 5 cm bzw. $\frac{1}{8}$ des Achsabstandes

Achsabstand: ≤ 80 cm bzw. $15 \cdot$ Aufbetonhöhe

Bewehrung:

\rightarrow **Biegebewehrung:**
 max d_s bei GT = 22 mm, 2 Stück
 max d_s bei DGT = 22 mm, 4 Stück
 max d_s bei PD = 24 mm, 4 Stück

GT... Gitterträgerdecke
 DGT... Doppelgitterträgerdecke
 PD... Plattendecke

\rightarrow **Schubbewehrung:**
 GT von 12,5 cm bei $d \approx 20$ cm
 GT von 20,5 cm bei $d \approx 28$ cm

- Verteilerbewehrung
- Verteilerkranz
- Randdeckenkranz

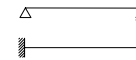
min. 20% der Biegebewehrung

ab 5 m Spannweite

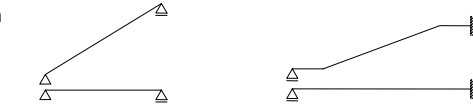
wegen ungewollter Einspannung und aus konstruktiven Gründen

Treppen

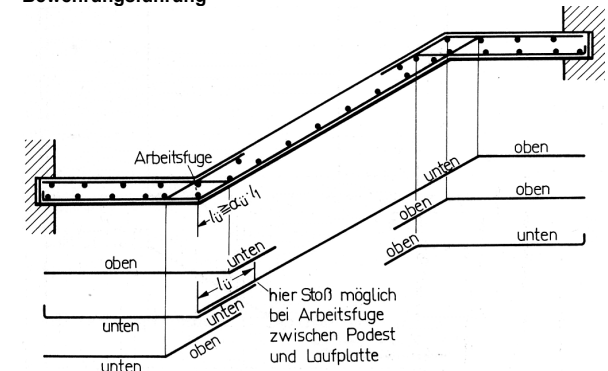
Quergespannte Treppen



Längsgespannte Treppen



Bewehrungsführung



Stützen

Stahlbetonstützen $b \leq 5 \cdot d$

Mindestabmessungen 25 cm (Sonderfälle 20 cm)

Längsbewehrung

min. 0,3 % der Betonfläche max. 9%

min. 4 \emptyset 12 bei Rechteckquerschnitten
 min. 6 \emptyset 12 bei runden Stützen

Bügel

Bügelabstand ≤ 25 cm bzw. $12 \emptyset$
 $< d$

Bügeldurchmesser > 6 mm bzw. $\frac{1}{4} \emptyset$ Längsbewehrung

Bemessung mittig belasteter Stützen

a) Rechteckstützen ohne Knickgefahr $\lambda \leq 0$

$\lambda = \frac{s_K}{0,289 \cdot d} \square$

$\lambda = \frac{s_K}{\frac{d}{4}} = \frac{s_K \cdot 4}{d} \circ$

Aufnehmbare Kraft

$N = \frac{1}{2,1} \cdot (A_b \cdot \beta_R + A_s \cdot \beta_s)$

Stahlbetonwände: $b > 5 \cdot d$

auch bei Stoßstellen!

d... kleinere Abmessung der Stütze bzw. \emptyset -Säule

λ ... Schlankheit

- A_b ... Betonquerschnitt
- A_s ... Stahlquerschnitt
- β_R ... Rechenwert der Betondruckspannung
- β_s ... Streckgrenze
- 2,1... Sicherheitsbeiwert

b) Rechteckstützen mit mäßiger Knickgefahr $20 < \lambda \leq 70$

$$\frac{e}{d} < 0,3 \rightarrow f = d \cdot \frac{\lambda - 20}{100} \cdot \sqrt{0,1 + \frac{e}{d}}$$

$$\frac{e}{d} = 0,3 + 2,5 \rightarrow f = d \cdot \frac{\lambda - 20}{160}$$

$$\frac{e}{d} = 2,5 + 3,5 \rightarrow f = d \cdot \frac{\lambda - 20}{160} \cdot (3,5 \cdot \frac{e}{d})$$

Bemessungstafel

$$m = \frac{M}{b \cdot d^2 \cdot \beta_R} \left\{ \omega_{01} = \omega_{02} \right.$$

$$n = \frac{N}{b \cdot d \cdot \beta_R} \left. \right\}$$

$$A_{S_1} = A_{S_2} = \frac{\omega \cdot b \cdot d}{\beta_S / \beta_R}$$

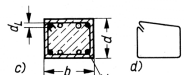
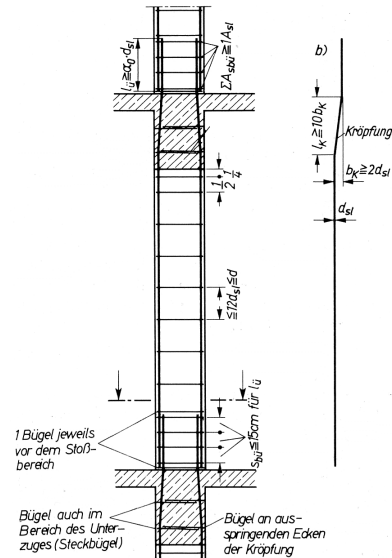
e... Ausmitte infolge äußerer Lasten $e = \frac{M}{N}$
 d... Abmessung des Querschnittes in Knickrichtung

Wendehorst, 28. Auflage, S. 482 ff.

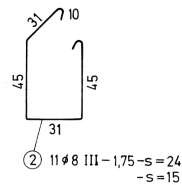
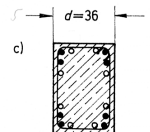
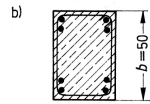
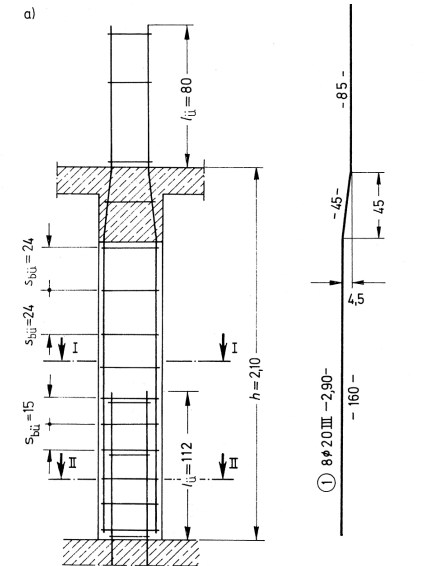
A_S... Bewehrung pro Seite (in Knickrichtung)

$$\frac{d_1}{d}$$

Längs- und Bügelbewehrung für Stahlbetonstützen



Bewehrungsplan für Stahlbetonstütze mit gekröpfter Anschlussbewehrung



Fundamente

Nachweis der Bodenpressung

$$\sigma_B = \frac{F}{A} = \frac{F \left[\frac{kN}{m} \right]}{b \left[m \right] \cdot 1m}$$

$$b_{\text{eff}} = \frac{F}{\sigma_B}$$

Richtwerte der zulässigen Bodenpressung

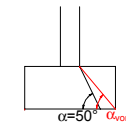
- schlechter Boden (bindiger, feuchter Boden) $\sigma_B \approx 100 + 150 \frac{kN}{m^2}$
- mittelmäßiger Boden (Mischböden) $\sigma_B \approx 150 + 240 \frac{kN}{m^2}$
- guter Boden (Fels; nicht bindiger, gut verdichteter Boden) $\sigma_B \geq 240 \frac{kN}{m^2}$

Frosttiefe

80 + 120 cm von FUK aus

Lastausbreitung

$\alpha < 50^\circ$

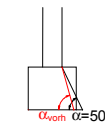


→ Bemessung

Biegebemessung: Einspannung im Schnitt 12

Schubbemessung

$\alpha \geq 50^\circ$



→ keine Bemessung



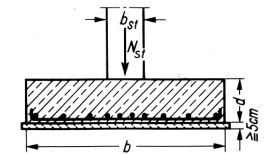
Einzelfundamente

Biegemoment für quadratische Stützen

$$M_{\text{max}} = \frac{N_{\text{St}} \cdot (b - b_{\text{St}})}{8}$$

$$b = \sqrt{\frac{N}{\sigma_B, \text{zul}}}$$

M... maximale Biegemoment in kNm
 N_{St}... Längskraft in kN
 b... Fundamentbreite in m
 b_{St}... Maß der Stütze



Biegemomente für rechteckige Stützen

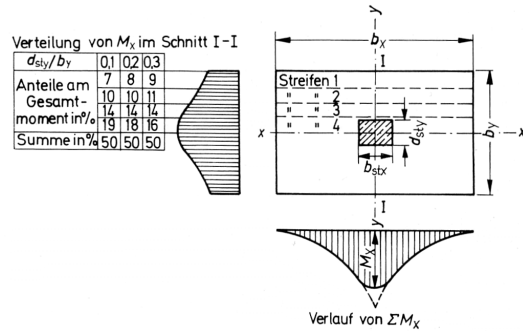
$$M_{x, \text{max}} = \frac{N_{\text{St}} \cdot (b_x - b_{\text{St}x})}{8}$$

$$M_{y, \text{max}} = \frac{N_{\text{St}} \cdot (b_y - b_{\text{St}y})}{8}$$

Aufteilung der Biegemomente

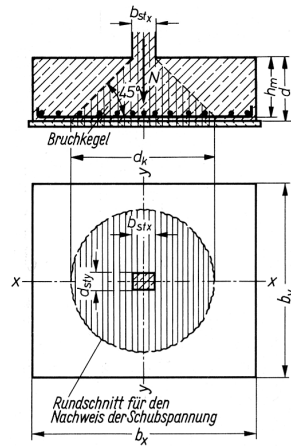
wenn $\frac{b_{\text{St}x}}{b_x}$ bzw. $\frac{b_{\text{St}y}}{b_y} < 0,3$

$$b_1 = \frac{b}{8} \quad m_1 = M_{\text{max}} \cdot \frac{\%}{100}$$



Durchstanzen

$$Q_{r,max} = N_{St} - \sigma_1 \cdot \frac{d_k^2 \cdot \pi}{4}$$



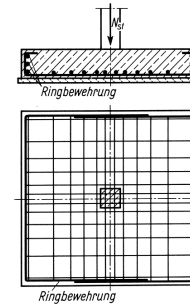
rechnerische Schubspannung

$$\tau_r = \frac{Q_{r,max}}{u \cdot h_m} \leq \chi_1 \cdot \tau_{011}$$

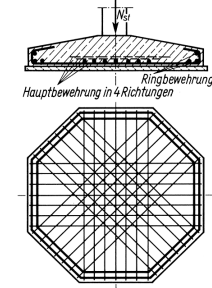
- Q_R ... maßgebende Querkraft in kN
- σ_1 ... gleichmäßig verteilt angenommene Bodenpressung nur aus Stützenlast N_{St} in $\frac{kN}{m^2}$
- d_k ... Durchmesser des Bruchkegels in m
 - bei runden und quadratischen Stützen: $d_k = 2 \cdot h_m + d_{St}$
 - bei rechteckigen Stützen: $d_k = 2 \cdot h_m + 1,13 \cdot \sqrt{b_{St} \cdot d_{St}}$

- h_m ... statische Höhe der Fundamentplatte in m
- u ... Umfang des um die Stütze geführten Rundschnittes mit dem Durchmesser d_r in m
 - $u = d_r \cdot \pi$
- d_r ... Durchmesser des Rundschnittes
 - $d_r = d_k - h_m$
 - $= h_m + d_{St}$
 - bei rechteckigen Stützen: $d_r = h_m + 1,13 \cdot \sqrt{b_{St} \cdot d_{St}}$
- χ_1 ... $\chi_1 = 1,3 \cdot \alpha_s \cdot \sqrt{\mu_g}$
- α_s ... 1,3 für BSt 420, 1,4 für BSt 500
- μ_g ... Bewehrungsgrad in % mit a_{sx} und a_{sy} in $\frac{cm^2}{m}$
 - $\mu_g = \frac{a_{sx} + a_{sy}}{2 \cdot h_m}$

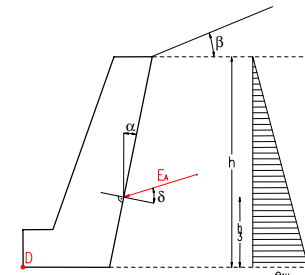
Stahlbetonstütze mit Ringbewehrung für Stütze mit großer Belastung



Achteckiges Stahlbeton-Einzelfundament für große Stützenlasten mit Hauptbewehrung in 4 Richtungen und Ringbewehrung



Stützmauern



Erddruck

- aktiver Erddruck E_a :** Mauer neigt sich vom Erdrich weg
 - $e_{ah} = \gamma \cdot h \cdot k_{ah}$
 - $E_{ah} = e_{ah} \cdot h \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot k_{ah}$
 - $E_{av} = E_{ah} \cdot \tan(\delta - \alpha)$

- passiver Erddruck E_p :** Mauer wird gegen Erdrich gedrückt (Bogenbrückeauflager, Bohrpfehlwände) $E_p > E_a$

- Erdruchdruck:** Mauer bleibt in Ruhe
 - $e_0 = \gamma \cdot h \cdot k_0$
 - $k_0 = 1 - \sin \phi$

Stand sicherheitsnachweis

$$e = \frac{M_k}{V} \leq \frac{b}{6}$$

Kippsicherheitsnachweis

$$\eta_K = \frac{M_s}{M_k} \geq 1,5$$

- α ... Neigung Wand
- β ... Neigung Gelände
- δ ... Wandreibungswinkel
- ϕ ... innerer Reibungswinkel (Scherfestigkeit)
 - nichtbindige Böden: $\approx 30+37^\circ$
 - bindige Böden: $\approx 15+27^\circ$
- c ... Kohäsion (nur bei bindigen Böden) $\approx 15+27 \frac{kN}{m^2}$
- γ ... Wichte [$\frac{kN}{m^3}$]
- G ... Eigengewicht
- k_{ah} ... Erddruckbeiwert nach Blum Wendehorst, 28. Auflage, S. 1086

Gleitsicherheitsnachweis $\eta_G = \frac{V \cdot \tan \alpha}{H} \geq 1,3$ $\tan \alpha = \frac{H}{V}$ H... resultierende Horizontalkraft

Grundbruchsicherheitsnachweis sehr komplex

Nachweis der max. Bodenspannung $e < \frac{b}{6} \rightarrow \sigma_{B, \max} = \frac{|N|}{A} + \frac{|M|}{W}$ für ständige Lasten

$$e = \frac{b}{6} \rightarrow \sigma_{B, \max} = 2 \cdot \frac{|M|}{A}$$

$$\sigma_{B, \max} \leq \sigma_{B, \text{zul}}$$

Nachweis der Betonquerschnitte k_T -Verfahren

OBERSCHULE FÜR GEOMETER „PETER ANICH“, BOZEN

- Fachrichtung Baubetrieb -

Skripte aus 5 Jahren Oberschule

Diese Arbeit soll als didaktische Unterlage für den Schulunterricht oder als Nachschlagewerk dienen.

Diese Arbeit erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Ich weise jegliche Verantwortung in Bezug auf Inhaltsfehler und Fehlen von Textteilen von mir. Ich bitte aber darum, mir alle Fehler mitzuteilen, damit ich die Unterlagen verbessern und erweitern kann.

Die Vervielfältigung ist mit Quellenangabe erlaubt. Die Dokumente dürfen ohne Erlaubnis meinerseits nicht verändert werden.

Moroder Daniel
Tinderlaweg 13A
39046 St. Ulrich
daniel@moroder.de

St. Ulrich, September 2001