

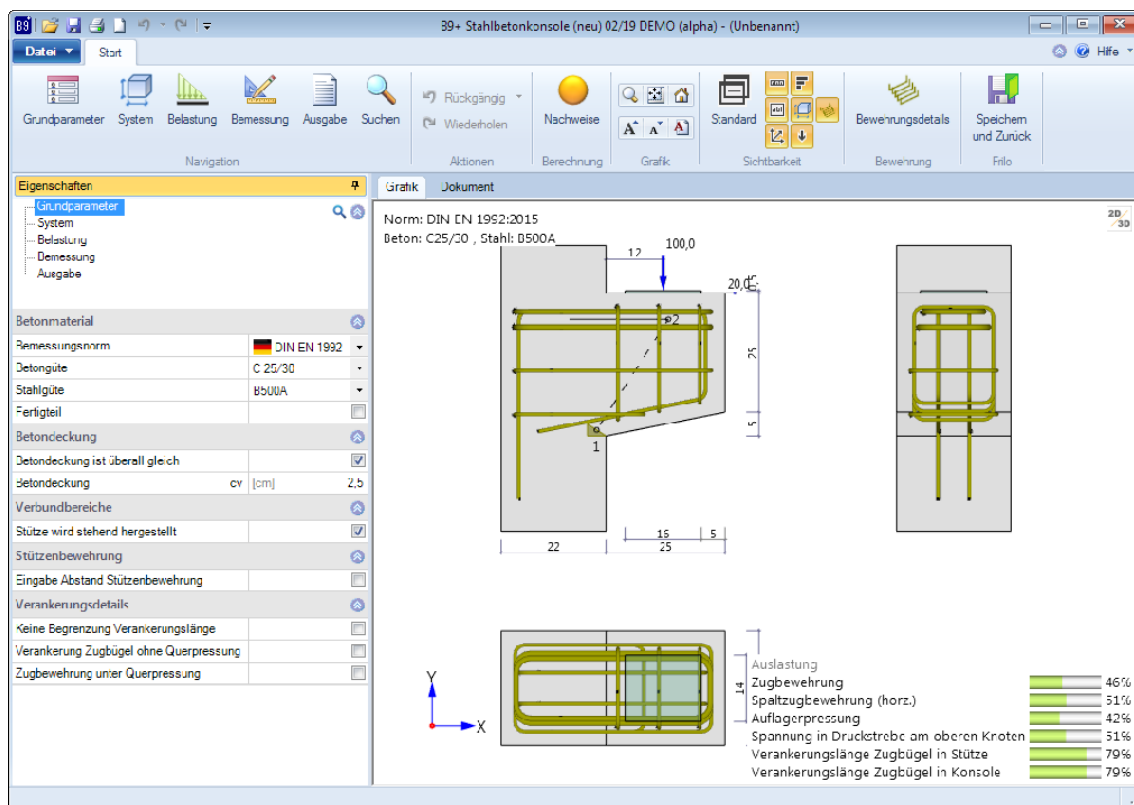
Berechnungsgrundlagen B9+

Frilo Software GmbH

www.frilo.eu

info@frilo.eu

Stand: 17.05.2019



Berechnungsgrundlagen B9+

Inhaltsverzeichnis

Algemeines	3
Berechnung nach EN 1992-1-1	3
Verbundbedingungen	10
Biegerollendurchmesser und Mindestabstände der Bewehrung	11

Grundlegende Dokumentationen - Übersicht

Neben den einzelnen Programmhandbüchern (Manuals) finden Sie grundlegende Erläuterungen zur Bedienung der Programme auf unserer Homepage www.frilo.eu (▶ Service ▶ Fachinformationen ▶ Bedienungsgrundlagen).

Algemeines

Die Berechnung erfolgt nach Stabwerksmodell unter Berücksichtigung von Bestimmungen der einzelnen nationalen Anhänge.

Berechnung nach EN 1992-1-1

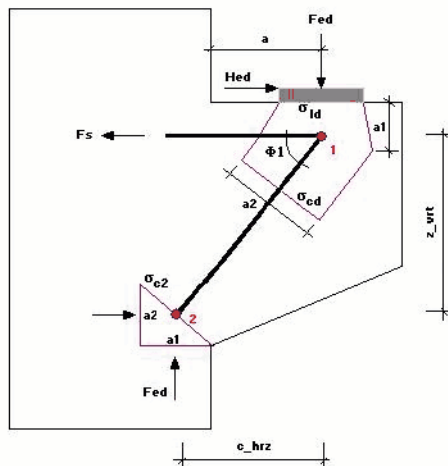


Abbildung 1

Der Berechnung ist ein vereinfachtes Streben-Zugband-Modell entsprechend Abbildung 1 zugrunde gelegt. Voraussetzung hierfür ist, dass die Last der Konsole in der Stütze nach unten weitergeleitet wird, sowie die Einhaltung der Bedingung $\min \phi \leq \phi \leq \max \phi$ mit dem Winkel ϕ der Druckstrebe zur Horizontalen und $a_c \leq z_0$.

Für $\max \phi$ gilt: $\max \phi = 60^\circ$ für allen EN Normen außer ÖNorm B, BS EN und EN, $\max \phi = 63.4^\circ$ für Önorm B 1992-1-1 und $\max \phi = 68.2^\circ$ für BS EN 1992-1-1 und EN 1992-1-1.

Für $\min \phi$ gilt: $\min \phi = 30^\circ$ für allen EN Normen außer BS EN und EN, $\min \phi = 45^\circ$ für BS EN 1992-1-1 und EN 1992-1-1.

Nach Heft 599 Abschn. 11 ist a_c der horizontale Abstand von der Stützenkante bis zum Schwerpunkt des oberen Knotens, z_0 ist der vertikale Hebelarm (vertikale Länge der Druckstrebe bis zum Stützenanschnitt).

Für den Fall $a_c > z_0$ ist die Konsole als Kragarm zu bemessen.

Für den Fall $\phi < \min \phi$ wird keine Bemessung der Konsole durchgeführt. Wird $\max \phi$ überschritten, so wird die Neigung der Druckstrebe ϕ gleich $\max \phi$ gesetzt und der innere Hebelarm entsprechend verringert (der obere Knoten wird nach unten verschoben, die Lage des unteren Endes der Druckstrebe bleibt unverändert).

Sollte dann das obere Zugband (des statischen Modells) oberhalb des Schwerpunktes der Zugbewehrung liegen (die Lage des Zugbandes ist dann rot dargestellt), dann stimmt die Lage der Zugbewehrung nicht mit dem angenommenen statischen Modell überein, eine Bemessung der Konsole wird nicht durchgeführt.

Es besteht die Möglichkeit den Schwerpunkt der Zugbewehrung nach unten zu verschieben, in dem man eine größere Anzahl von Lagen der Zugbügel oder Zugschlaufen anordnet oder in dem man den vorhandenen vertikalen lichten Abstand zwischen den Zugbügel oder Zugschlaufen untereinander (Standardwert 2,0 cm) vergrößert (bis max. 5,0cm). Diese Werte können in der detaillierten Bewehrungseingabe verändert werden. Dadurch kann der Schwerpunkt der Zugbewehrung der angenommenen Lage des Zugbandes angepasst werden und eine Bemessung der Konsole wird möglich.

Beachte: Zur Erfassung rechnerisch nicht berücksichtigter Zwangseinwirkungen wird gemäß Heft 600 DAfStb der Ansatz einer zusätzlichen Horizontalkraft von $H_{ed} = 0,2 \cdot F_{ed}$ vorgeschrieben.
 Nach ÖNorm B 1992-1-1, $H_{ed} = 0,1 \cdot F_{ed}$

Streben-Zugband-Modell

Es wird zunächst die Geometrie des Streben-Zugband-Modells entsprechend Abbildung 1 ermittelt. Vorausgesetzt wird, dass a_{horz} im unteren Knoten die Kraft F_{ed} aufnehmen kann. Daraus und aus der gegebenen Konsolenbedingung ergibt sich a_{vert} im unteren Knoten und somit die genaue Druckstrebenlage.

Nach ÖNorm B 1992-1-1 Abschn. 25.4.2 wird die Länge der Hypotenuse des Knotens (Druck-Druck-Knoten) auf 25% der statischen Höhe der Konsole beschränkt. b_k = Konsolenbreite

$$a_{horz} = \frac{F_{ed}}{(b_k \cdot k_1 \cdot v' \cdot f_{cd})}$$

a_{horz} am unteren Knoten,

$k_1 = 1.1$ bei NA zu DIN EN 1992-1-1 Abs. 6.5.4 (4),

$k_1 = 1.25$ bei ÖNorm B 1992-1-1,

$k_1 = 1.0$ bei BE EN 1992-1-1 und EN 1992-1-1

v' s. unten

Nach Heft 599 Abschn. 11.3 wird die a_{vert} auf Zulässigkeit geprüft.

$$a_{vert} = h - \sqrt{h^2 - \frac{2 \cdot c_{horz} \cdot F_{ed}}{b_k \cdot k_1 \cdot v' \cdot f_{cd}}}$$

a_{vert} am unteren Knoten, k_1 : siehe oben

mit

$$h = h_k - d_1$$

Nutzhöhe, d_1 = Abstand Schwerpunkt Zugbewehrung von Ok Konsole

$$\Delta H = d_1 \cdot \left(\frac{H_{ed}}{F_{ed}} \right)$$

horizontaler Abstand zw. Angriffspunkt der vertikalen Last und dem Schwerpunkt des oberen Knotens

$$c_{horz} = a + \Delta H + 0,5 \cdot a_{horz} \quad \text{horizontale Länge der Druckstrebe}$$

damit ergibt sich:

$$z_{vert} = h - 0,5 \cdot a_{vert}$$

vertikale Länge der Druckstrebe

Überprüfung der Strebenneigung:

$$\phi = \arctan \left(\frac{z_{vert}}{c_{horz}} \right)$$

Bei zu großem Φ wird a_{vert} (am unteren Knoten), z_{vert} und D mit der Bedingung $\Phi = \max \Phi$ ermittelt. $\Phi < \min \Phi$ ist unzulässig. ($\min \Phi$ und $\max \Phi$ s. oben)

Zugbandkraft F_s

$$F_s = \max \left(\left(F_{ed} \cdot \frac{c_{horz}}{z_{vert}} \right), (0,4 \cdot F_{ed}) \right) + H_{ed} \cdot \frac{h_s + d_1 + z_{vert}}{z_{vert}}$$

Druckstrebenkraft F_c

$$F_c = F_{ed} \cdot \sqrt{1 + \frac{c_{\text{horz}}^2}{z_{\text{vert}}^2}}$$

Schnittkräfte am Anschnitt der Konsole:

$$z_0 = h - \left(0,5 \cdot a_{\text{horz}} \cdot \frac{z_{\text{vert}}}{c_{\text{horz}}} \right)$$

$$M = F_{ed} \cdot a + H_{ed} \cdot (h_s + d_1 + z_0)$$

$$V = F_{ed}$$

verwendete Bezeichnungen:

b_K	Konsolenbreite
d_K	Konsolenhöhe (gesamt)
l_p	Lastplattenlänge
b_p	Lastplattenbreite
d_1	Bewegungsschwerpunkt von OK Konsole
f_{cd}	Bemessungswert Betondruckkraft
f_{yd}	Bemessungswert Betonstahlstreckgrenze

andere Werte siehe [Abbildung 1](#).

Zugbewehrung

ergibt sich aus der Zugbandkraft F_S :

$$\text{erf.} A_{s_{\text{ZUG}}} = \frac{F_S}{f_{yd}}$$

Spaltzugbewehrung

Die Bewehrung zur Aufnahme der Spaltzugkräfte wird nach den jeweiligen nationalen Anhängen bzw. nach Heft 600 DAfStb für DIN EN 1992-1-1 in Abhängigkeit der Konsolenbedingung a/h wie folgt abgeschätzt:

- für ($a/h \leq 0,5$) und ($F_{ed} > 0,3 \cdot VR_{d,max}$) und DIN EN 1992-1-1

$A_{s,Spaltzug} = 0,5 \cdot A_{s,Zug}$ mit geschlossenen horizontalen Bügeln

- für ($a/h \leq 0,5$)

$A_{s,Spaltzug} = 0,4 \cdot A_{s,Zug}$ mit geschlossenen horizontalen Bügeln für ÖNorm B 1992-1-1

$A_{s,Spaltzug} = 0,5 \cdot A_{s,Zug}$ mit geschlossenen horizontalen Bügeln für BS EN 1992-1-1

$A_{s,Spaltzug} = 0,25 \cdot A_{s,Zug}$ mit geschlossenen horizontalen Bügeln für EN 1992-1-1

- für ($a/h > 0,5$) und ($F_{ed} > VR_{d,c}$)

$A_{s,Spaltzug}$ aus $F_{b,ü} = 0,7 \cdot F_{ed}$ mit geschlossenen vertikalen Bügeln für DIN EN 1992-1-1

$A_{s,Spaltzug}$ aus $F_{b,ü} = 0,5 \cdot F_{ed}$ mit geschlossenen vertikalen Bügeln für BS EN 1992-1-1 und EN 1992-1-1

$A_{s,Spaltzug} = F_{b,ü} / f_{yd}$

- für ($a/h > 0,5$) und ÖNorm B 1992-1-1

$A_{s,Spaltzug} = F_{ed} / f_{yd}$ mit geschlossenen vertikalen Bügeln

Die Berechnung von $VR_{d,max}$ erfolgt nach:

- nach Heft 600 DAfStb Gl. (H.J-4):

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot v \cdot b \cdot z \cdot (f_{ck} / \gamma_c) \quad \text{mit } v \geq (0,7 - f_{ck}/200) \geq 0,5 \text{ und } z = 0,9 d$$

$VR_{d,c}$ ergibt sich zu:

$$V_{Rd,c} = \left(0,1 \cdot \kappa \cdot \eta_1 \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} - 0,12 \cdot \sigma_{cd} \right) \cdot b_K \cdot h$$

Bemessungswert der ohne Querkraftbewehrung aufnehmbaren Querkraft nach EN 1992-1-1 6.2.2 (1)

$$\kappa = 1 + \sqrt{\frac{200}{h}} \leq 2,0$$

$\eta_1 = 1,0$ für Normalbeton

$$\rho_1 = \frac{\text{erf.} A_{s_{\text{zug}}}}{b_K \cdot h} \leq 0,02 \quad b_K = \text{Konsolenbreite}$$

$$\sigma_{cd} = \frac{H_{ed}}{b_K \cdot d_{Ka}}$$

für d_{ka} als Höhe des Konsolenquerschnitts unter der Vertikallast (im Abstand a vom Konsolenanschnitt) und $H_{ed} < 0$ bei Druck.

Nachweis der Auflagerpressung unter F_{ed}

Der Nachweis der Druckspannung unter der Lastplatte (oberer Knoten in Abbildung 1) erfolgt folgt: mit den Bedingungen unter der Lastplatte:

$$\sigma_{ld} = \frac{F_{ed}}{l_p \cdot b_p} \leq \sigma_{rd} = k_2 \cdot v' \cdot f_{cd} \quad \text{nach EN 1992-1-1 Abs. 6.5.4 (4)}$$

- für Deutschland: $k_2 = 0.75$, $v' = 1.1 - f_{ck} / 500 \leq 1.0$
- für Österreich: $k_2 = 0.9$, $v' = 1.0 - f_{ck} / 250$
- für Großbritannien: $k_2 = 0.85$, $v' = 1.0 - f_{ck} / 250$
- EN ohne NA: $k_2 = 0.85$, $v' = 1.0 - f_{ck} / 250$

Nachweis der Tragfähigkeit der Betondruckstrebe

Nachzuweisen ist die Einhaltung der Spannung der Betondruckstrebe an der Schräge des oberen Knotens

$$a_{\text{vert}} = 2 \cdot d_1 \quad a_{\text{vert}} \text{ am oberen Knoten}$$

$$a_{\text{schräg}} = \left(a_{\text{vert}} \cdot \left(\frac{c_{\text{horz}}}{z_{\text{vert}}} \right) + l_p \right) \cdot \sin(\Phi) \quad a_{\text{schräg}} \text{ am oberen Knoten, mit } a_{\text{vert}} \text{ des oberen Knotens}$$

$$\sigma_{cd} = \frac{F_c}{a_{\text{schräg}} \cdot b_p} \leq \sigma_{rd, \max} = k_2 \cdot v' \cdot f_{cd} \quad \text{nach EN 1992-1-1 Abs. 6.5.4 (4), } k_2 \text{ und } v' \text{ siehe oben, } a_{\text{schräg}} = \text{Länge der schrägen Abmessung am oberen Knoten}$$

F_c Druckstrebenkraft

Tests, Fehlermeldungen und Konstruktive Randbedingungen

Es wird überprüft, ob die Neigung der Druckstrebe im zulässigen Bereich liegt und ob $ac \leq z_0$ ist.

Es wird überprüft, ob der Anwender genügend Zug- bzw. Spaltzugbewehrung ausgewählt hat und ob die zulässigen Spannungen unter der Lagerplatte und in der Druckstrebe (am oberen Knoten) eingehalten werden.

Es wird überprüft, ob die minimal zulässigen Biegerollendurchmesser in den jeweiligen Stahlpositionen untergebracht werden können und ob die lichten Abstände eingehalten werden, bzw. ob Abmessungen von Stahlpositionen negativ werden.

Für tragende (nicht konstruktive) Längsbügel wird kontrolliert, dass das stützenferne Lastplattenende dem Krümmungsbeginn des Längsbügels max. auf einen Längsbügeldurchmesser nahe kommt (s. BK 2001, T. 2, S. 441).

Es wird überprüft, ob Zugbügel oder Zugschlaufen im Bereich der unteren Schräge der Konsole oder darunter liegen.

Es wird überprüft, ob die Verankerungs- und Übergreifungslängen der Zugbewehrung in der Konsole bzw. in der Stütze eingehalten werden.

Für DIN EN 1992-1-1 wird überprüft, ob die vertikale Abmessung des unteren Knotens die Bedingungen nach Heft 599 Abschn .11.3 erfüllen.

Für ÖNorm B 1992-1-1 wird überprüft, dass die Konsolenhöhe unter der Last mindestens 60% der Konsolenhöhe am Anschnitt beträgt und dass die Länge der Diagonale des unteren Knotens max. 25 % der statischen Konsolenhöhe beträgt.

Ggf. wird ein Hinweis ausgegeben, wenn die Lastplatte nicht von Bewehrung umschlossen wird und wenn die horizontale Last kleiner als von der Norm empfohlen ist.

Werden die Testbedingungen nicht eingehalten, so wird die Nachweisampel rot (bzw. gelb bei Hinweisen) eingefärbt und durch Anklicken der selben erscheint ein Fenster mit Fehlerhinweisen.

Hinweis: Das Programm bietet die Möglichkeit mehrere Zugbügel bzw. Zugschlaufen nebeneinander anzuordnen (sinnvoll bei breiteren Konsolen). Werden gleichzeitig Zugbügel und Schlaufen angeordnet, dann sollten es pro Lage jeweils gleich viele sein, da sonst der lichte Abstand z. B. für die Anordnung von Längsbügeln, zu klein ist.

Bei breiten Konsolen sollte der Anwender kontrollieren, ob der Abstand der Spaltzugbewehrung (bei Steg- und Vertikalbügeln) in Querrichtung noch zulässig ist (z. B. in Analogie zum Abstand der Schubbewehrung in Querrichtung). Ggf. sollte man Zwischenbügel anordnen.

Nach Leonhardt (Bd. 3) sollte die Zugbewehrung nicht mehr als ein Viertel der statische Konsolenhöhe von der Oberkante der Konsole entfernt sein.

Nachweis der Verankerung

Die Zugbandbewehrung kann durch Zugbügel, Zugschlaufen oder Längsbügel realisiert werden. Dabei werden je nach Voraussetzung folgende Nachweise der Verankerung geführt:

- Nachweis als gerades Stabende, Schlaufe bzw. Bügel nach EN 1992-1-1 8.4.3 für Zugbügel und Längsbügel im Stützenbereich und für Zugbügel, Zugschlaufe und Längsbügel am freien Konsolenende.
- Nachweis der Übergreifung nach EN 1992-1-1 8.7.3 für Zugschlaufe und Längsbügel in der Stütze.

Nachweis als gerades Stabende bzw. Bügel nach EN 1992-1-1 8.4.3

$$l_b = \frac{d_s}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}}$$

Hinweis: Der Einfluss der Querpressung p wird für EN-Normen nach Tab. 8.2 durch den Faktor $\alpha_5 = 1 - 0.04 \cdot p$ mit $0.7 \leq \alpha_5 \leq 1.0$ berücksichtigt.

$$l_{b,min} = 0,3 \cdot \alpha_A \cdot l_b \geq 10 \cdot d_s$$

$$l_{b,net} = \alpha_A \cdot l_b \cdot \frac{A_{S,erf}}{A_{S,vorh}} > l_{b,min}$$

Nachweis der Übergreifung nach EN 1992-1-1 8.7.3

$$l_{s,min} = 0,3 \cdot \alpha_A \cdot \alpha_1 \cdot l_b \geq 15 \cdot d_s \geq 200\text{mm}$$

$$l_s = l_{b,net} \cdot \alpha_1 > l_{s,min}$$

Verankerungsnachweis der einzelnen Bügelarten

Links der Last (in der Stütze)

Zugbügel und ggf. Längsbügel werden als gerades Stabende nachgewiesen. Die vorhandene Verankerungslänge wird dabei von der Vorderkante der Stütze aus gemessen.

Zugschlaufen und ggf. Längsbügel bilden mit der Stützenlängsbewehrung Übergreifungen und werden an diesen Stellen entsprechend der notwendigen Übergreifungslänge dimensioniert.

Rechts der Last (am freien Konsolenende)

Zugbügel und -schlaufen werden als Bügel nach EN 1992-1-1 nachgewiesen. Für ggf. vorhandene Längsbügel erfolgt der Nachweis wieder als gerades Stabende.

Die vorhandene Verankerungslänge wird dabei von der Hinterkante der Lastplatte aus gemessen, also einschließlich der gesamten Lastplattenlänge.

Je nach Bügelart können unterschiedliche Biegerollendurchmesser gewählt werden.

Grundsätzlich gilt: für kleinere Biegerollendurchmesser erhöht sich die erforderliche Verankerungslänge.

Verbundbedingungen

Je nach eingestellter Option rechnet das Programm mit den vom Anwender vorgegebenen Verbundbereichen, oder bei Vorgabeoption "als Ortbeton" - also stehend hergestellt - mit wie folgt zugeordneten Werten:

Verbundbereich	in Stütze	am Konsolenende
Zugbügel	I	II/I entsprechend Abstand
Zugschlaufe	I	II/I entsprechend Abstand
Längsbügel	I	I

Bei Zugbügel und Zugschlaufe am Konsolenende wird der Verbundbereich entsprechend des Abstandes der Bügel von OK bzw. UK Konsole ermittelt.

Es gilt:

Abstand Oben = 30 cm

Abstand Unten = 30 cm bei DIN EN 1992-1-1

Abstand Unten = 25 cm für andere Normen

Ist der Abstand des obersten Zugbügels bzw. der obersten Zugschlaufe von OK Konsole größer als "Abstand Oben", kann für diesen gute Verbundbedingung angenommen werden.

Ebenso wird gute Verbundbedingung (VB I) angenommen, wenn der jeweils oberste Zugbügel bzw. die oberste Zugschlaufe höchstens im "Abstand Unten" von UK Konsole liegen.

Biegerollendurchmesser und Mindestabstände der Bewehrung

Die Größe der Biegerollendurchmesser kann optional in den Detaildialogen zur Bewehrung vorgegeben werden.

Mit cR = Mindestwert der Betondeckung rechtwinklig zur Krümmungsebene gilt:

für DIN EN 1992-1-1 und $d_{br} \geq 10 \cdot d_s$ gilt (nach Tabelle 8.1DE):

$d_{br} = 10 \cdot d_s$ bei $cR > 100 \text{ mm}$ und $cR > 7 \cdot d_s$

$d_{br} = 15 \cdot d_s$ bei $cR > 50 \text{ mm}$ und $cR > 3 \cdot d_s$

$d_{br} = 20 \cdot d_s$ sonst

für ÖNorm B 1992-1-1 gilt :

d_{br} nach Tabelle 13 bzw. nach Gleichung (8.1) wenn Bedingung nach Tab. 13 nicht eingehalten ist

für BS EN 1992-1-1 und EN 1992-1-1 gilt:

d_{br} nach Gleichng (8.1) unter der Annahme der vollen Auslastung der Stäbe

in allen anderen Fällen (Bügel) gilt:

$d_{br} = 7 \cdot d_s$ bei $d_s < 20 \text{ mm}$

$d_{br} = 4 \cdot d_s$ sonst

Die Mindestbewehrungsabstände a_{min} ermittelt das Programm aus den Bedingungen

$a_{min} \geq d_s$ und $a_{min} \geq 20 \text{ mm}$. Für Zugbügel und Zugschlaufen wird als lichter Abstand standardmäßig der Mindestabstand a_{min} angesetzt. Ist aus geometrischen Gründen (s. Erläuterung zur Abb. 1) ein größerer lichter Abstand wünschenswert, so kann dieser auf bis zu 50 mm vergrößert werden

Bewehrung

Zugbewehrung:

- bei entsprechender Konsolenbreite sind jetzt auch mehr als 2 Zugbügel oder Zugschlaufen nebeneinander möglich
- maximal zwei Lagen anstreben
- mehrere Schlaufen in einer Ebene bevorzugen
- große Biegerollendurchmesser zuerst verwenden
- Längsbügel konstruktiv ansetzen
- Zugschlaufen verwenden
- mit Durchmesser 6 oder 8 mm beginnen
- zwei Längsbügel konstruktiv mit Durchmesser 8 bzw. 6 mm

Stegbewehrung:

- horizontale Stegbügel in bis zu 5 Lagen, wenn für Spaltzug erforderlich
- wenn konstruktiv, dann Durchmesser 8, bzw. 6 mm und zwei Bügel

- Vertikalbügel, wenn für Spaltzug erf. mit Durchmesser 6 oder 8 mm
- wenn konstruktiv, dann Durchmesser 6 oder 8 mm, und drei Bügel