

# Bemessung der Durchstanz- und Verbundbewehrung für das Bewehrungssystem CLIXS 2.0

nach der ETA-19/0310 vom Februar 2022 mit erheblichen Einsparungen der Anzahl der Bleche gegenüber der vorherigen ETA

Gerd Günther, Jörg Cramer, Till Fastner

Stand: 13.09.2022

Die Bemessung des CLIXS Bewehrungssystems bei ständigen und quasi-ständigen Einwirkungen erfolgt nach Eurocode 2, Abschnitt 6.4 [1] und den Anhängen C.1 und C.2 der ETA [2].

Die Weiterentwicklungen des Systems [3] und [4] mit erheblichen Reduzierungen der Anzahl der Bleche gegenüber der vorherigen ETA werden zahlenmäßig in der Gegenüberstellung am Ende des Beispiels besonders deutlich.

Mit der Bemessungssoftware von BETOMAX [5] kann der Durchstanz- und Verbundnachweis einfach mit geringem Aufwand geführt werden.

In dem folgenden Beispiel werden leicht verständlich zur Nachvollziehbarkeit der Bemessung die einzelnen Schritte per Handrechnung ausführlich beschrieben. Alle Schritte sind ebenfalls im Ergebnisausdruck der Bemessungssoftware dargestellt.

## Durchstanznachweis

Der **Bemessungswert der einwirkenden Querkraft**  $V_{Ed}$  entlang des kritischen Rundschnitts  $u_1$  im Abstand von  $2d$  vom Stützenrand wird wie folgt bestimmt:

$$v_{Ed} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_1 \cdot d} \quad (1)$$

$V_{Ed}$	einwirkende Bemessungsquerkraft
$u_1$	Umfang des kritischen Rundschnitts im Abstand von $2d$ vom Stützenrand
$d$	mittlere statische Nutzhöhe
$\beta$	Lasterhöhungsfaktor zur Berücksichtigung von Lastexzentrizitäten (Abb. 15)

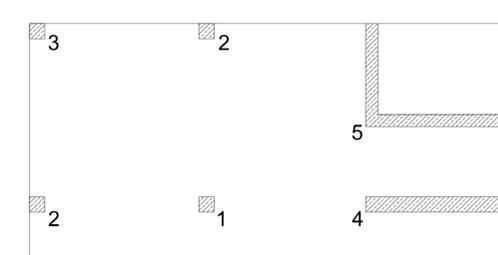


Abb. 1: Vereinfachte Lasterhöhungsfaktoren

Für unverschiebliche Systeme mit Stützweitendifferenzen von weniger als 25%:

1. Innenstütze  $\beta = 1,10$
2. Randstütze  $\beta = 1,40$
3. Eckstütze  $\beta = 1,50$
4. Wanddecke  $\beta = 1,20$
5. Wandende  $\beta = 1,35$

Alternativ kann der Lasterhöhungsfaktor  $\beta$  nach dem Verfahren der plastischen Schubspannungsverteilung mit der Bemessungssoftware berechnet werden.

Eine Durchstanzbewehrung ist erforderlich, wenn die einwirkende Querkraft je Flächeneinheit entlang des kritischen Rundschnitts  $u_1$  größer ist als der in Gleichung (2) beschriebene **Durchstanzwiderstand des Betons**  $V_{Rd,c}$ .

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} \geq v_{min} \quad (2)$$

$C_{Rd,c}$	empirischer Faktor, $C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c$
$k$	Faktor zur Berücksichtigung des Maßstabeffekts $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$ mit $d$ in [mm]
$f_{ck}$	charakteristische Zylinderdruckfestigkeit des Betons
$\rho_l$	gemittelter Bewehrungsgrad in y- und z- Richtung $\rho_l = \sqrt{\rho_{ly} \cdot \rho_{lz}} \leq \begin{cases} 2,0 \\ 0,5 \cdot f_{cd}/f_{yd} \end{cases}$
	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c$ Bemessungswert der Betondruckfestigkeit
	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$ Bemessungswert der Streckgrenze des Bewehrungsstahls
$v_{min}$	$(0,0525 / \gamma_c) \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$ für $d \leq 600$ mm $(0,0375 / \gamma_c) \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$ für $d > 800$ mm Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden

Für Innenstützen bei Flachdecken mit kleinen Verhältnissen von Stützenumfang zu statischer Nutzhöhe gilt:

$$\frac{u_0}{d} < 4,0 : C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} \cdot (0,1 \cdot \frac{u_0}{d} + 0,6) \geq \frac{0,15}{\gamma_c}$$

$u_0$	Umfang der Stützenlasteinleitungsfläche
$\gamma_c$	Teilsicherheitsbeiwert für Beton ( $\gamma_c = 1,5$ )

Die äußere Bewehrungsreihe ist im Abstand  $1,5 d$  nach innen vom **äußeren Rundschnitt**  $u_{out}$  nach Gleichung (3) vorzusehen.

$$u_{out} = \frac{\beta_{red} \cdot V_{Ed}}{V_{Rd,c} \cdot d} \quad (3)$$

$\beta_{red}$	reduzierter Faktor zur Berücksichtigung von Einflüssen aus Lastexzentrizitäten entlang des äußeren Rundschnitts $u_{out}$
---------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Der **reduzierte Faktor**  $\beta_{red}$  kann bei der Bestimmung des Durchstanzwiderstandes des äußeren Rundschnitts  $u_{out}$  bei Rand- und Eckstützen nach Gleichung (4) berechnet werden.

$$\beta_{red} = \kappa_\beta \cdot \beta \geq 1,10 \quad (4)$$

Randstütze	$\kappa_\beta = \frac{1}{1,2 + \frac{\beta}{20} \cdot \frac{l_s}{d}}$
Eckstütze	$\kappa_\beta = \frac{1}{1,2 + \frac{\beta}{15} \cdot \frac{l_s}{d}}$
Wanddecke	$\kappa_\beta = 1,0$
Wandende	$\kappa_\beta = 1,0$
$l_s$	Abstand zwischen der Stützenoberfläche und dem äußersten Durchstanzbewehrungselement
$\beta$	Lasterhöhungsfaktor (vollplastische Schubspannungsverteilung)

Die **Maximaltragfähigkeit**  $V_{Rd,max}$  wird im kritischen Rundschnitt  $u_1$  im Abstand von  $2,0 d$  vom Stützenrand nach Gleichung (5) berechnet.

$$V_{Rd,max} = k_{pu,sl} \cdot V_{Rd,c} \quad (5)$$

$V_{Rd,max}$	maximale Durchstanzttragfähigkeit
$k_{pu,sl}$	Erhöhungsfaktor für den Durchstanztwiderstand = 2,05 für L-Bleche mit einem oder zwei Bügel $\varnothing 6$ = 1,90 für L-Bleche mit einem Bügel $\varnothing 8$
$V_{Rd,c}$	Bemessungswert des Durchstanztwiderstandes nach Gleichung (2) mit $C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c$ <b>unabhängig vom Verhältnis <math>u_0 / d</math></b>

Der Nachweis erfolgt nach Gleichung (6).

$$\frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_1 \cdot d} \leq V_{Rd,max} \quad (6)$$

$V_{Rd,max}$	maximale Durchstanzttragfähigkeit
--------------	-----------------------------------

Die sehr hohe Maximaltragfähigkeit der L-Bleche ist insbesondere bei dünnen Stützen und hohen Decken mit  $u_0 / d < 4$  durch den konstanten Faktor für  $C_{Rd,c}$  wesentlich höher als bei allen anderen bekannten Durchstanztbewehrungssystemen.

Die **Bemessung der Durchstanztbewehrung** erfolgt im kritischen Rundschnitt  $u_1$ . Die Anzahl der Durchstanztbewehrungselemente muss so groß sein, dass folgende Ungleichung erfüllt ist.

$$\beta \cdot V_{Ed} \leq V_{Rd,cs,L-Bleche} \quad (7)$$

$V_{Rd,cs,L-Bleche}$	Durchstanztwiderstand der L-Bleche
----------------------	------------------------------------

Der **Durchstanztwiderstand**  $V_{Rd,cs,L-Bleche}$  setzt sich aus dem Traganteil der Durchstanztbewehrungselemente und dem Betontraganteil zusammen. Die erforderliche Anzahl von Bewehrungselementen ist für jede der ersten drei Reihen bis zu einem Abstand von  $2,0 d$  zur Stütze einzubauen und kann mit der Gleichung (8) ermittelt werden.

$$V_{Rd,cs,L-Bleche} = k_1 \cdot V_{Rd,c} \cdot u_1 \cdot d + k_{2,L} \cdot n_{Bügel} \cdot 2 A_{s,Bügel} \cdot f_{ywd,ef} \cdot n_{Bleche} \cdot 1,5 d / s_r \quad (8)$$

$k_1$	= 0,85 Wirkungsbeiwert für die Betontragfähigkeit
$u_1$	Rundschnitt im Abstand $2 d$ vom Stützenrand
$n_{Bügel}$	Anzahl der Bügel je L-Blech (1 oder 2 Bügel)
$k_{2,L}$	= 0,55 Wirkungsbeiwert für den Verbund
$A_{s,Bügel}$	Querschnittsfläche eines Bügelschenkels
$f_{ywd,ef}$	= $250 + 0,25 d \leq f_{yd}$ , effektiver Bemessungswert der Streckgrenze der Bügel, mittlere statische Nutzhöhe $d$ in mm, $f_{yd} = 435 \text{ N/mm}^2$
$n_{Bleche}$	Anzahl der L-Bleche im Rundschnitt
$s_r$	radialer Abstand der Durchstanztbewehrung, empfohlen $s_r = 0,75 d$

Überschreitet der Abstand der Bewehrungsreihen  $2,0 d$  zum Stützenrand wird der Wirkungsbeiwert für den Verbund ab der vierten Bewehrungsreihe auf  $k_{2,L} = 1,0$  erhöht.

## Verbundnachweis in der Fuge im Durchstanzbereich

Bei der abschnittswisen Herstellung von Betonbauteilen, wie Halffertigteildecken mit Ortbetonergänzung, grenzen Betone unterschiedlichen Alters aneinander. Die Bauteile sollen das Tragverhalten von monolithischen Körpern aufweisen. Deshalb müssen die Fugen kraftschlüssig ausgeführt werden.

Der **Bemessungswert der Einwirkung**  $V_{Ed,ui}$  für jeden Rundschnitt, ab einem Abstand von 1,25 d vom Stützenrand, kann mit Gleichung (9) bestimmt werden.

$$V_{Ed,ui} = \frac{\beta \cdot (V_{Ed} - \Delta V_{Ed,i})}{u_i \cdot z} \quad (9)$$

$\Delta V_{Ed,i}$	Abzugswert der Belastung vom jeweiligen Rundschnitt bis zur Stütze = $A_i \cdot (g_d + q_d)$ , mit $A_i$ als Fläche des Durchstanzbereichs bis zum jeweiligen Rundschnitt
$u_i$	Umfang des jeweiligen Rundschnitts
$z$	Hebelarm der inneren Kräfte, = 0,9 d oder geringerer Hebelarm bei gleichzeitiger Querkraftbeanspruchung, = $\max \left\{ \begin{array}{l} d - c_{unten} - 0,03 \text{ m} \\ d - 2 \cdot c_{unten} \end{array} \right.$ <small><math>c_{unten}</math> Verlegemaß der Längsbewehrung in der Druckzone</small>

Im Abstand von 0,5 d ist kein Nachweis erforderlich, da dort die Querkraft direkt in die Stütze eingeleitet wird.

Die **Verbundtragfähigkeit**  $V_{Rdi}$  setzt sich additiv aus einem Betonverzahnungstraganteil  $V_{Rd,c}$ , einem Reibungsanteil  $V_{Rd,r}$  infolge einer Normalkraft und aus den die Fuge kreuzenden Bewehrungsanteilen  $V_{Rd,si}$  zusammen und kann nach Gleichung (10) berechnet werden. Der Reibungsanteil aus dem Eigengewicht des Ortbetons ist bei dünnen Decken gering und kann vernachlässigt werden.

$$V_{Rdi} = V_{Rd,c} + V_{Rd,r} + V_{Rd,si} \leq 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \quad (10)$$

$$V_{Rdi} = c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n + \rho_i \cdot f_{yd} \cdot (1,2 \cdot \mu \cdot \sin \alpha_i + \cos \alpha_i) \leq 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} = V_{Rd,max}$$

$f_{ctd}$	= $\alpha_{ct} \cdot 0,7 \cdot 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3} / \gamma_c$ Bemessungswert der Betonzugfestigkeit
$\sigma_n$	Druckspannungen rechtwinklig zur Fuge, Zugkräfte werden negativ eingesetzt
$\rho_i$	jeweiliger Bewehrungsgehalt der die Fuge kreuzenden Bewehrungen
$\alpha_i$	Neigung der betrachteten Bewehrung zur Fuge
$c, \mu$ und $v$	Beiwerte in Abhängigkeit von der Oberflächenbeschaffenheit der Fuge des Halffertigteils, verzahnt, mit Zahnhöhe $\geq 10$ mm $c = 0,50; \mu = 0,90; v = 0,75$ rau, mit Rechen aufgeraut $c = 0,40; \mu = 0,70; v = 0,50$ glatt, abgezogene Fugenfläche $c = 0,20; \mu = 0,60; v = 0,20$ sehr glatt, glatte Schalung $c = 0,00; \mu = 0,50; v = 0,00$
$V_{Rd,max}$	maximale Verbundkraftübertragung

Der **Verbundkrafttraganteil des Betons**  $V_{Rd,c}$  ergibt sich nach Gleichung (11).

$$V_{Rd,c} = c \cdot f_{ctd} \quad (11)$$

Der **Verbundkrafttraganteil des Grundgitterträgers**  $V_{Rd,GT}$  kann nach Gleichung (12) berechnet werden.

$$V_{Rd,GT} = \frac{n_{\text{Stäbe}} \cdot A_{\text{Stab}}}{b_{GT} \cdot s_{GT}} \cdot f_{yd} \cdot (1,2 \cdot \mu \cdot \sin \alpha_{GT} + \cos \alpha_{GT}) \quad (12)$$

$n_{\text{Stäbe}}$	die Fuge kreuzende Diagonalstäbe steigend zum Auflager im Abstand $b_{GT}$
$b_{GT}$	Abstand der Diagonalstäbe
$s_{GT}$	mittlerer Abstand der Gitterträger
$h_{GT}$	Trägerhöhe
$A_{\text{Stab}}$	Querschnittsfläche eines Diagonalstabs steigend zum Auflager
$f_{yd}$	Bemessungswert der Streckgrenze der Diagonalstäbe
$\alpha_{GT}$	Winkel der zwei Diagonalstäbe steigend zum Auflager

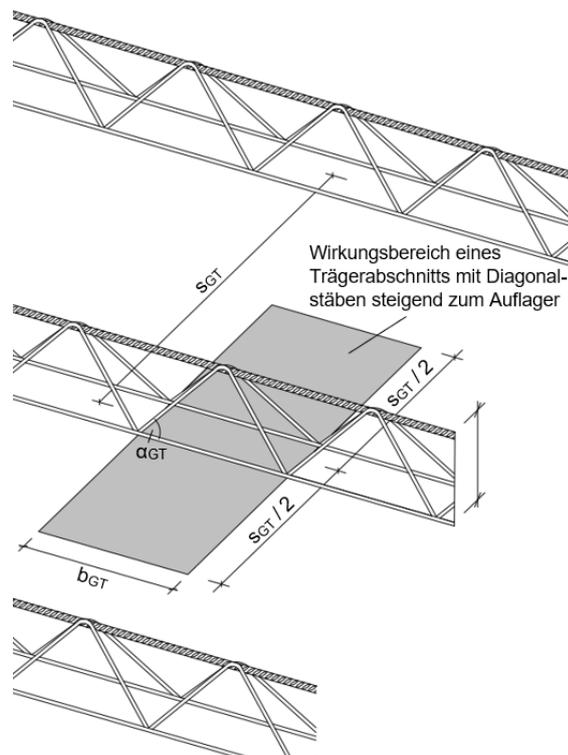


Abb. 2: Grundgitterträger mit Wirkungsbereich eines Trägerabschnitts

Falls Schubgitterträger als Zulage eingebaut werden, kann der **Verbundkrafttraganteil des Schubgitterträgers**  $V_{Rd,ST}$  mit Gleichung (13) bestimmt werden.

$$V_{Rd,ST} = \frac{n_{V,Stäbe} \cdot A_{VS}}{b_{ST} \cdot s_{ST}} \cdot f_{yd} \cdot 1,2 \cdot \mu + \frac{n_{D,Stäbe} \cdot A_{DS}}{b_{ST} \cdot s_{ST}} \cdot f_{yd} \cdot (1,2 \cdot \mu \cdot \sin \alpha_{ST} + \cos \alpha_{ST}) \cdot \beta \quad (13)$$

$n_{V,Stäbe}$	die Fuge kreuzende Vertikalstäbe im Abstand $b_{ST}$
$A_{VS}$	Querschnittsfläche eines Vertikalstabes

$b_{ST}$	Abstand der Diagonal- und Vertikalstäbe
$s_{ST}$	mittlerer Abstand der Schubgitterträger, analog zum Gitterträger
$h_{ST}$	Trägerhöhe
$n_{D,Stäbe}$	die Fuge kreuzenden Diagonalstäbe im Abstand $b_{ST}$
$A_{DS}$	Querschnittsfläche eines Diagonalstabes
$f_{yd}$	Bemessungswert der Streckgrenze der Diagonal- und Vertikalstäbe
$\alpha_{ST}$	Winkel der zwei Diagonalstäbe steigend zum Auflager
$\beta$	Abminderung, da tangentielle und radiale Verlegung zur Stütze empfohlen $\beta \leq 0,7$

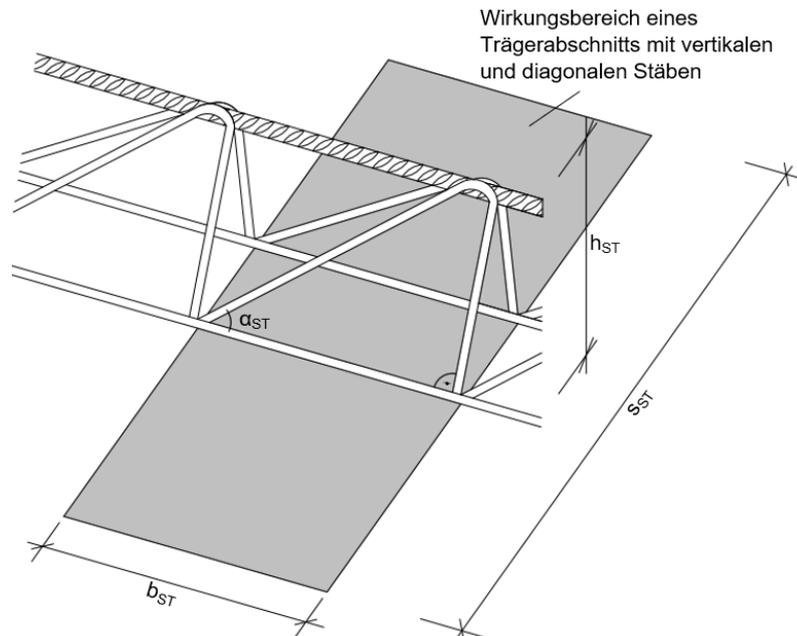


Abb. 3: Kenngrößen des Schubgitterträgers

Der **Verbundkrafttraganteil der L-Bleche**  $V_{Rd,L-Blech}$  wird nach Gleichung (14) berechnet. Bei der Berechnung des Verbundtraganteils der L-Bleche wird die Querschnittsfläche der Bügel als Verbundbewehrung angerechnet. Die Bügel dürfen mit einer Neigung von  $\alpha = 90^\circ$  zur Plattenebene rechnerisch angesetzt werden.

$$V_{Rd,L-Blech} = \frac{A_{L-Blech,i}}{s_{w,i} \cdot u_i} \cdot f_{yd} \cdot (1,2 \cdot \mu \cdot \sin \alpha_{L-Blech} + \cos \alpha_{L-Blech}) \quad (14)$$

$A_{L-Blech,i}$	$= n_i \cdot n_s \cdot 2 \cdot A_{s,Bügel}$
$n_i$	Anzahl der Bleche je Rundschnitt
$n_s$	Anzahl der Bügel je Blech (1 oder 2)
	$2 \cdot A_{s,Bügel}$ zweifache Querschnittsfläche, da zweischnittiger Bügel
$s_{w,i}$	Breite des jeweiligen Rundschnitts, empfohlen $s_w = 1,25 d$ erster Rundschnitt, $s_w = 0,75 d$ alle weiteren Rundschnitte
$u_i$	Umfang des jeweiligen Rundschnitts
$f_{yd}$	Bemessungswert der Streckgrenze der Bügel
$\alpha_{L-Blech}$	Neigung der Bügelschenkel zur Plattenebene, empfohlen $\alpha = 90^\circ$

Der gleichzeitige Einsatz von Blechen und Gitterträgern ist entsprechend der ETA [2] möglich.

Die größte aus der Fugen- und Durchstanzbemessung ermittelte Bewehrungsmenge ist einzubauen.

# Bemessungsbeispiel

## Innenstütze einer Halbfertigteilflachdecke

### System

- Einwirkung:  $V_{Ed} = 405 \text{ kN}$   
 $g_d = 6,0 \cdot 1,35 = 8,1 \text{ kN/m}^2$ ,  $q_d = 5,0 \cdot 1,5 = 7,5 \text{ kN/m}^2$
- Deckenhöhe:  $h = 20 \text{ cm}$
- Stützenabmessungen:  $a = 30 \text{ cm}$ ,  $b = 30 \text{ cm}$
- Deckenbeton: C30/37
- Betonüberdeckung:  $c_{unten} = 2,5 \text{ cm}$   
 $c_{oben} = 2,5 \text{ cm}$
- Deckenbewehrung: Grundbewehrung – kreuzweise,  
 $\text{Ø}12 - 30 \rightarrow a_s = 3,77 \text{ cm}^2/\text{m}$   
 Zulagen – Längs- und Querrichtung im Stützbereich,  
 $7 \text{ Ø}12-10 \rightarrow A_s = 7,92 \text{ cm}^2$

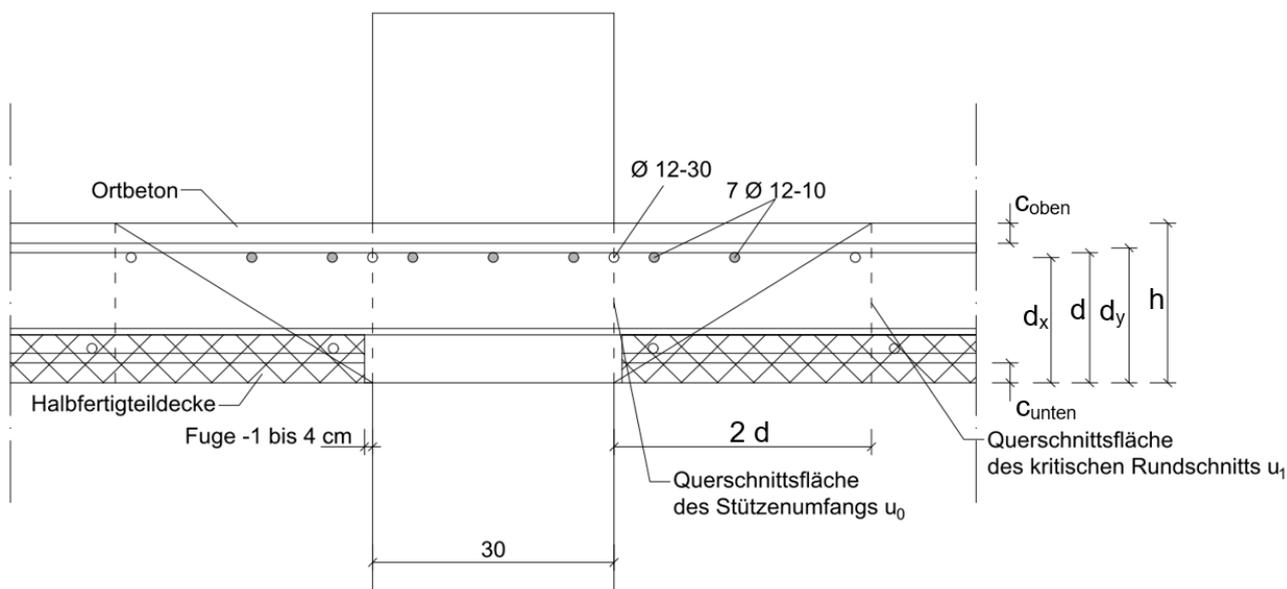


Abbildung 18: System des Bemessungsbeispiels

## Durchstanznachweis

### Bemessungswert der einwirkenden Querkraft

$$V_{Ed} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_1 \cdot d} = \frac{1,1 \cdot 0,405}{3,21 \cdot 0,16} = 0,87 \text{ MN/m}^2 \quad (1)$$

$\beta = 1,1$	Lasterhöhungsfaktor infolge Exzentrizität bei Innenstützen
$V_{Ed} = 0,405 \text{ MN}$	Bemessungswert der einwirkenden Querkraft
$u_1 = 3,21 \text{ m}$	Umfang des kritischen Rundschnitts im Abstand von $2d$ vom Stützenrand
$d = 0,16 \text{ m}$	$u_1 = 2(a + b) + \pi \cdot 2 \cdot d = 2(30 + 30) + \pi \cdot 2 \cdot 16 = 321 \text{ cm}$ mittlere statische Nutzhöhe in der Querschnittsfläche $d_x = 20 - 2,5 - 0,6 = 16,9 \text{ cm}$ $d_y = 20 - 2,5 - 1,2 - 0,6 = 15,7 \text{ cm}$ $d = (d_x + d_y) / 2 = (16,9 + 15,7) / 2 = 16,3 \text{ cm}$ unter Berücksichtigung der Rippenhöhe wird die mittlere statische Höhe mit $d = 16 \text{ cm}$ festgelegt

### Durchstanzwiderstand ohne Querkraftbewehrung

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} \geq V_{min} \quad (2)$$

$$V_{Rd,c} = 0,12 \cdot 2 \cdot (100 \cdot 0,0063 \cdot 30)^{1/3} = 0,64 \text{ MN/m}^2 \geq 0,54 \text{ MN/m}^2$$

$C_{Rd,c} = 0,12$	empirischer Faktor $\frac{u_0}{d} = \frac{2(a + b)}{d} = \frac{2(30 + 30)}{16} = 7,5 \geq 4,0$ $\rightarrow C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$
$k = 2$	Faktor zur Berücksichtigung des Maßstabeffekts $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{160}} = 2,12 > 2,0$ mit $d$ in [mm]
$f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$	charakteristische Zylinderdruckfestigkeit des Betons
$\rho_l = 0,63$	gemittelter Bewehrungsgrad in x- und y- Richtung Längsbewehrungsgrad im Stützenstreifen wird auf eine Breite der Stütze zuzüglich $3d$ je Seite ermittelt, $b_{sx,sy} = 30 + 2(3 \cdot 16) = 126 \text{ cm}$ $\rho_l = \left( \frac{3,77}{100} + \frac{7,92}{126} \right) / 16 = 0,0063 < 0,02$ ; $0,5 \cdot f_{cd} / f_{yd}$ anrechenbare Längsbewehrung ist mit $l_b$ hinter dem äußeren Rundschnitt $u_{out}$ zu verankern.
$V_{min} = 0,54 \text{ MN/m}^2$	Mindestwert für $d \leq 600 \text{ mm}$ $(0,0525 / \gamma_c) \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = (0,0525 / 1,5) \cdot 2^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0,54 \text{ MN/m}^2$

### Vergleich der einwirkenden Querkraft zum Durchstanzwiderstand ohne Bewehrung

$$V_{Ed} = 0,87 \text{ MN/m}^2 > V_{Rd,c} = 0,64 \text{ MN/m}^2$$

→ **Durchstanzbewehrung ist erforderlich**

## Maximale Tragfähigkeit der Durchstanzbewehrung

$$V_{Rd,max} = 2,05 \cdot v_{Rd,c} = 2,05 \cdot 0,64 = 1,31 \text{ MN/m}^2 \quad (5)$$

$v_{Rd,c} = 0,64 \text{ MN/m}^2$  Bemessungswert des Durchstanzwiderstands des Betons mit  $C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c$ , gilt auch für Decken mit  $u_0 / d < 4$

$$V_{Ed} = 0,87 \text{ MN/m}^2 < v_{Rd,max} \text{ } 1,31 \text{ MN/m}^2$$

## Äußerer Rundschnitt

$$u_{out} = \frac{\beta_{red} \cdot V_{Ed}}{v_{Rd,c} \cdot d} = \frac{1,1 \cdot 0,405}{0,64 \cdot 0,16} = 4,35 \text{ m} \quad (3)$$

$\beta_{red} = 1,1$  reduzierter Faktor zur Berücksichtigung von Einflüssen aus Lastexzentrizitäten entlang des äußeren Rundschnitts  $u_{out}$   
 $v_{Rd,c} = 0,64 \text{ MN/m}^2$  Bemessungswert des Durchstanzwiderstands des Betons mit  $C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c$

$$r_{out} = \frac{u_{out} - u_0}{2 \pi} = \frac{4,35 - 1,20}{2 \pi} = 0,50 \text{ m} \triangleq 3,13 \text{ d}$$

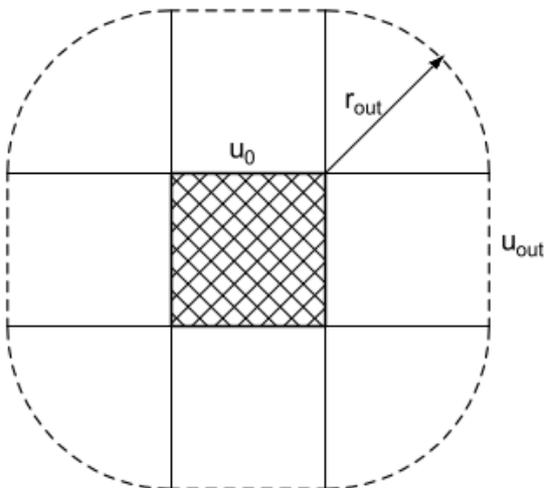


Abbildung 19: Stützenumfang  $u_0$  und äußerer Rundschnitt  $u_{out}$

## Äußere Bewehrungsreihe

Die äußere Bewehrungsreihe ist im Abstand von  $1,5 \text{ d}$  nach innen vom äußeren Rundschnitt festgelegt.

$$r = r_{out} - 1,5 \text{ d} = 3,13 \text{ d} - 1,5 \text{ d} = 1,63 \text{ d}$$

→ 3 Bewehrungsreihen im Abstand von  $0,5 \text{ d}$ ,  $1,25 \text{ d}$  und  $2,0 \text{ d}$  vom Stützenrand sind erforderlich

## Bemessung der Durchstanzbewehrung mit L-Blechen

$$\beta \cdot V_{Ed} \leq V_{Rd,cs,L-Bleche} \quad (7)$$

$$V_{Rd,cs,L-Bleche} = k_1 \cdot v_{Rd,c} \cdot u_1 \cdot d + k_{2,L} \cdot f_{ywd,ef} \cdot \frac{1,5 d}{s_r} \cdot n_{Bügel} \cdot 2 A_{s,Bügel} \cdot n_{Bleche} \quad (8)$$

$k_1 = 0,85$	Wirkungsbeiwert für die Betontragfähigkeit
$u_1 = 3,21 \text{ m}$	Rundschnitt im Abstand $2 d$ vom Stützenrand
$n_{Bügel} = 2$	Anzahl der Bügel je L-Blech (1 oder 2 Bügel)
$k_{2,L} = 0,55$	Wirkungsbeiwert für den Verbund für die Rundschnitte bis $2,0 d$ , ab $2,0 d$ kann der Wirkungsbeiwert für die äußeren Reihen auf $k_{2,L} = 1,00$ erhöht werden
$A_{s,Bügel} = 28,27 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$	Querschnittsfläche der Bügelbewehrung, gewählt: $d_s = 6 \text{ mm}$
$f_{ywd,ef} = 290 \text{ MN/m}^2$	$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25 d = 250 + 0,25 \cdot 160 = 290 \text{ MN/m}^2$ $\leq f_{yd} = 435 \text{ N/mm}^2$
$n_{Bleche}$	Anzahl der L-Bleche im Rundschnitt
$s_r = 0,75 d$	radialer Abstand der Durchstanzbewehrung, empfohlen $s_r = 0,75 d$

Einsetzen von Gleichung (8) in Gleichung (7) und umstellen nach  $n_{Bleche}$  ergibt die erforderliche Blechanzahl:

$$1,10 \cdot 0,405 \leq 0,85 \cdot 0,64 \cdot 3,21 \cdot 0,16 + 0,55 \cdot 290 \cdot \frac{1,5 d}{0,75 d} \cdot 2 \cdot 2 \cdot 28,27 \cdot 10^{-6} \cdot n_{Bleche}$$

$$0,45 \leq 0,28 + 0,036 \cdot n_{Bleche}$$

$$n_{Bleche} = \frac{0,45 - 0,28}{0,036} = 4,7$$

für die ersten drei Bewehrungsreihen sind statisch jeweils 5 Bleche mit zwei Bügeln erforderlich

### Mindestblechanzahl je Rundschnitt

Folgende tangentielle Abstände müssen beim Verlegen der Bleche berücksichtigt werden:

$$a_t \leq \begin{cases} \max(140 \text{ mm}; 0,6 \cdot d \cdot i) & \text{für } i=1 \\ 0,6 \cdot d \cdot i & \text{für } i \geq 2 \end{cases}$$

$$a_{t,u0,50d} \leq \max(140 \text{ mm}; 0,6 \cdot 160 \cdot 1) = 140 \text{ mm}$$

$$a_{t,u1,25d} \leq 0,6 \cdot 160 \cdot 2 = 192 \text{ mm}$$

$$a_{t,u2,00d} \leq 0,6 \cdot 160 \cdot 3 = 288 \text{ mm}$$

Aus dem tangentialen Abschnitt und dem Umfang der jeweiligen Rundschnitte ergibt sich die Mindestblechanzahl je Rundschnitt bei einfach symmetrischer Blechanordnung:

$$n_i = u_i / a_{t,ui}$$

$$n_1 = \frac{u_{0,50d}}{a_{t,u0,50d}} = \frac{170}{14,0} = 12,1 \rightarrow 14 \text{ Bleche}$$

$$n_2 = \frac{u_{1,25d}}{a_{t,u1,25d}} = \frac{246}{19,2} = 12,8 \rightarrow 14 \text{ Bleche}$$

$$n_3 = \frac{u_{2,00d}}{a_{t,u2,00d}} = \frac{321}{28,8} = 11,1 \rightarrow 12 \text{ Bleche}$$

insgesamt werden **40 L-Bleche** benötigt

## CLIXS 2.0 - Überprüfung der Anordnung als 6er Stern für die Innenstütze

$$v_{Ed} = 0,87 \text{ MN/m}^2 < 1,46 \cdot v_{Rd,c} = 1,46 \cdot 0,64 = 0,93 \text{ MN/m}^2$$

→ die L-Bleche können als 6er Stern angeordnet werden

insgesamt werden nur  $3 \cdot 6 = 18$  L-Bleche benötigt

## Verbundnachweis in der Fuge im Durchstanzbereich

### Bemessungswert der Einwirkung zum Verbundnachweis

$$v_{Ed,ui} = \frac{\beta \cdot (V_{Ed} - \Delta V_{Ed,i})}{u_i \cdot z} \quad (9)$$

$$V_{Ed,1,25d} = 1,1 \cdot (0,405 - 0,0071) / (2,46 \cdot 0,11) = 1,62 \text{ MN/m}^2$$

$$V_{Ed,2,00d} = 1,1 \cdot (0,405 - 0,0124) / (3,21 \cdot 0,11) = 1,22 \text{ MN/m}^2$$

$$V_{Ed,2,75d} = 1,1 \cdot (0,405 - 0,0191) / (3,96 \cdot 0,11) = 0,97 \text{ MN/m}^2$$

$\Delta V_{Ed,i}$  Abzugswert der Belastung vom jeweiligen Rundschnitt bis zur Stütze,  
im Abstand  $0,5 d$  wird die Querkraft direkt in die Stütze eingeleitet  
 $= A_i \cdot (g_d + q_d)$ , mit  $A_i$  als Fläche des Durchstanzbereichs bis zum jeweiligen Rundschnitt

$$\Delta V_{Ed,1,25d} = [0,3^2 + 4 \cdot 0,3 \cdot 1,25 \cdot 0,16 + \pi \cdot (1,25 \cdot 0,16)^2] \cdot [1,35 \cdot 6,00 + 1,5 \cdot 5,0] = 7,1 \text{ kN}$$

$$\Delta V_{Ed,2,00d} = [0,3^2 + 4 \cdot 0,3 \cdot 2,00 \cdot 0,16 + \pi \cdot (2,00 \cdot 0,16)^2] \cdot [1,35 \cdot 6,00 + 1,5 \cdot 5,0] = 12,4 \text{ kN}$$

$$\Delta V_{Ed,2,75d} = [0,3^2 + 4 \cdot 0,3 \cdot 2,75 \cdot 0,16 + \pi \cdot (2,75 \cdot 0,16)^2] \cdot [1,35 \cdot 6,00 + 1,5 \cdot 5,0] = 19,1 \text{ kN}$$

$u_i$  Umfang des jeweiligen Rundschnitts

$$u_{1,25d} = 4 \cdot 0,30 + \pi \cdot 2,5 \cdot 0,16 = 2,46 \text{ m}$$

$$u_{2,00d} = 4 \cdot 0,30 + \pi \cdot 4,0 \cdot 0,16 = 3,21 \text{ m}$$

$$u_{2,75d} = 4 \cdot 0,30 + \pi \cdot 5,5 \cdot 0,16 = 3,96 \text{ m}$$

$z = 0,11 \text{ m}$

Hebelarm der inneren Kräfte  
 $= 0,9 d = 0,9 \cdot 0,16 = 0,144 \text{ m}$

oder geringerer Hebelarm bei gleichzeitiger Querkrafteinwirkung

$$= \max \begin{cases} d - c_{\text{unten}} - 0,03 \text{ m} = 0,16 \text{ m} - 0,025 \text{ m} - 0,03 \text{ m} = 0,105 \text{ m} \\ d - 2 \cdot c_{\text{unten}} = 0,16 \text{ m} - 2 \cdot 0,025 \text{ m} = 0,110 \text{ m} \end{cases}$$

### Verbundtragfähigkeit

$$v_{Rdi} = v_{Rd,c} + v_{Rd,r} + v_{Rd,s,i} \leq 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} = v_{Rd,max} \quad (10)$$

$c = 0,40$

$\mu = 0,70$

$v = 0,50$

Beiwerte für raue Fugen von Halbfertigteildecken,  
raue Fugen werden bei der Herstellung durch automatisierte  
Rechen im Fertigteilwerk erzeugt

## Maximale Verbundkraftübertragung

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,5 \cdot 0,5 \cdot 20 = 5,00 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cd} = 20 \text{ N/mm}^2 \quad f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c \quad \text{Bemessungswert der Betonzugfestigkeit mit } \alpha_{cc} = 1,00 \text{ und } \gamma_c = 1,5$$

$$V_{Ed,1,25 d} = 1,62 \text{ N/mm}^2 < V_{Rd,max} = 5,00 \text{ N/mm}^2$$

## Verbundkraftanteil des Betons

$$V_{Rd,c} = c \cdot f_{ctd} \quad (11)$$

$$f_{ctd} = 1,35 \text{ N/mm}^2 \quad f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot 0,7 \cdot 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3} / \gamma_c \quad \text{Bemessungswert der Betonzugfestigkeit mit } \alpha_{ct} = 1,00 \text{ und } \gamma_c = 1,5$$

$$V_{Rd,c} = 0,40 \cdot 1,35 = 0,54 \text{ N/mm}^2$$

## Verbundkraftanteil infolge einer Normalkraft

$$V_{Rd,r} = \mu \cdot \sigma_n = 0$$

Die geringe Druckspannung rechtwinklig zur Fuge aus Eigengewicht des Ortbetons wird vernachlässigt.

## Verbundkraftanteil des Grundgitterträgers

$$V_{Rd,GT} = \rho_{GT} \cdot f_{yd} \cdot (1,2 \cdot \mu \cdot \sin \alpha_{GT} + \cos \alpha_{GT}) \quad (12)$$

$$V_{Rd,GT} = 0,00062 \cdot 434,8 \cdot (1,2 \cdot 0,7 \cdot \sin 56,3 + \cos 56,3) = 0,34 \text{ N/mm}^2$$

Kennwerte des Grundgitterträgers:

$d_{s,D,GT} = 7 \text{ mm}$	Durchmesser Diagonalstab mit $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$
$e_{GT} = 70 \text{ mm}$	Trägerbreite
$h_{GT} = 120 \text{ mm}$	Trägerhöhe
$b_{GT} = 200 \text{ mm}$	Abstand der Diagonalstäbe
$s_{GT} = 625 \text{ mm}$	mittlerer Abstand der Gitterträger
$\alpha_{GT} = 56,3^\circ$	Winkel des Diagonalstabes
	$\tan \alpha_{GT} = \text{Gegenkathete} / \text{Ankathete} = 120 / 80 = 56,3^\circ$ , mit Gegenkathete = $h_{GT} = 120 \text{ mm}$ und Ankathete = $(b_{GT} / 2) - \text{Biegeradien} = 80 \text{ mm}$
$\rho_{GT} = 0,00062$	$\rho_{GT} = 2 \cdot \pi / 4 \cdot d_{s,D,GT}^2 / (b_{GT} \cdot s_{GT}) = 2 \cdot \pi / 4 \cdot 7^2 / (200 \cdot 625) = 0,00062$

## Verbundkraftanteil der L-Bleche

$$V_{Rd,L-Blech} = \frac{A_{L-Blech,i}}{s_{w,i} \cdot u_i} \cdot f_{yd} \cdot (1,2 \cdot \mu \cdot \sin \alpha_{L-Blech} + \cos \alpha_{L-Blech}) \quad (14)$$

$$V_{Rd,L-Blech} = \frac{n_i \cdot 2 \cdot 0,565}{s_{w,i} \cdot u_i} \cdot 434,8 \cdot (1,2 \cdot 0,70 \cdot \sin 90 + \cos 90)$$

$$V_{Rd,L-Blech} = \frac{n_i \cdot 412,7}{s_{w,i} \cdot u_i}$$

$A_{L-Blech,i}$	$= n_i \cdot n_s \cdot 2 \cdot A_{s,Bügel}$	
	$n_i$	Anzahl der Bleche je Rundschnitt,
	$n_s = 2$	gewählt, Anzahl der Bügel je Blech (1 oder 2)
	$2 A_{s,Bügel} = 2 \cdot \pi \cdot 0,3^2$	zweifache Querschnittsfläche, da
	$= 0,565 \text{ cm}^2$	zweischrittiger Bügel
$s_{w,i}$	Breite des jeweiligen Rundschnitts	
	$s_w = 1,25 d = 1,25 \cdot 16 = 20 \text{ cm}$ erster Rundschnitt	
	$s_w = 0,75 d = 0,75 \cdot 16 = 12 \text{ cm}$ alle weiteren Rundschnitte	
$\alpha_{L-Blech} = 90^\circ$	Neigung der Bügelschenkel zur Plattenebene	

## Erforderliche Anzahl von L-Blechen zur Verbundkraftübertragung

Das Einsetzen der Verbundtraganteile in Gleichung (10) und die Umstellung nach  $n_i$  ergibt die erforderliche Blechanzahl des jeweiligen Rundschnitts.

$$V_{Rdi} = V_{Rd,c} + V_{Rd,r} + V_{Rd,GT} + V_{Rd,L-Blech} = V_{Ed,ui}$$

$$V_{Rdi} = 0,54 + 0 + 0,34 + \frac{n_i \cdot 412,7}{s_{w,i} \cdot u_i} = V_{Ed,ui}$$

$$n_i = (V_{Ed,ui} - 0,88) \cdot (s_{w,i} \cdot u_i) / 412,7$$

$$n_{1,25d} = (1,62 - 0,88) \cdot (20 \cdot 246) / 412,7 = 8,82 \rightarrow 9 \text{ L-Bleche}$$

$$n_{2,00d} = (1,22 - 0,88) \cdot (12 \cdot 321) / 412,7 = 3,17 \rightarrow 4 \text{ L-Bleche}$$

$$n_{2,75d} = (0,97 - 0,88) \cdot (12 \cdot 396) / 412,7 = 1,04 \rightarrow 2 \text{ L-Bleche}$$

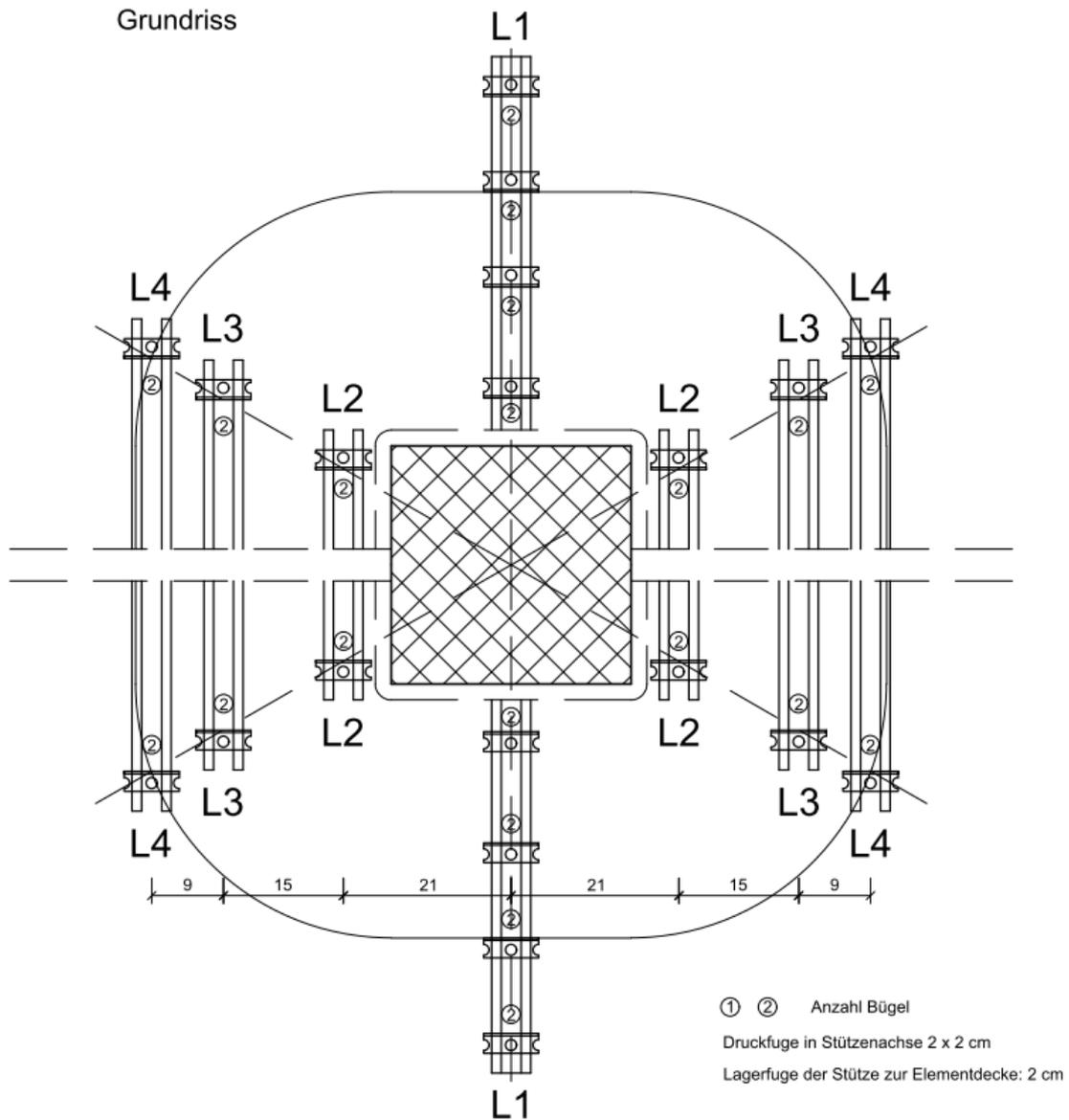
## Erforderliche Bügelhöhe

$$h_{Bügel} = (h - c_{oben} - c_{unten} - 7,5) \cdot 1,06$$

mit h und c in [cm]

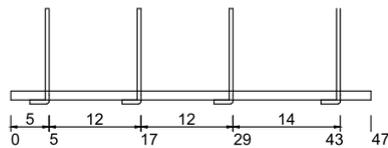
$$h_{Bügel} = (20 - 2,5 - 2,5 - 7,5) \cdot 1,06 = 8,0 \text{ cm}$$

# Einbauverteilung für CLIXS 2.0

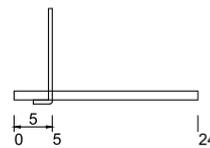


## Linienelemente

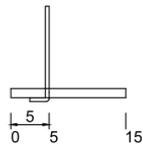
L1, 2 Stück



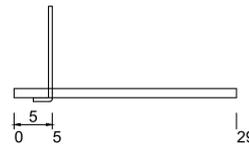
L3, 4 Stück



L2, 4 Stück



L4, 4 Stück



## Bügel, 40 Stück

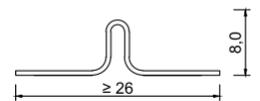


Abbildung 20: Vom CLIXS®-Berechnungsprogramm von BETOMAX® systems [5] ermittelte Anordnung der Einbauteile mit verlängerten Längsseiten zur vereinfachten Verlegung der Durchstanzbewehrung

## Gegenüberstellung der erforderlichen Anzahl von L-Blechen

nach ETA-19/0310 vom 28.Mai 2019:

<b>CLIXS 1.0</b>				
<b>Anzahl der L- Bleche mit einem Bügel</b>				
<b>Rund-schnitt</b>	<b>Durch-stanzen</b>	<b>Verbund</b>	<b>Mindest-anzahl</b>	<b>einzubauen</b>
0,50d	10	18	14	14
1,25d	10		14	14
2,00d	10	8	12	12
2,75d		4		4

nach ETA-19/0310 vom 21.Februar 2022:

<b>CLIXS 2.0</b>				
<b>Anzahl der L- Bleche mit zwei Bügeln</b>				
<b>Rund-schnitt</b>	<b>Durch-stanzen</b>	<b>Verbund</b>	<b>6er Stern</b>	<b>einzubauen</b>
0,50d	5	9	6	6
1,25d	5		6	6
2,00d	5	4	6	6
2,75d		2		2

Gegenüber den vorherigen Europäischen Technischen Bewertungen aus den Jahr 2019 konnte mit den Weiterentwicklungen, die in die ETA 2022 [2] aufgenommen wurden, die Anzahl der Bleche um mehr als die Hälfte reduziert werden.

### Literaturverzeichnis

- [1] DIN EN 1992-1-1/A1 Eurocode 2, Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln für den Hochbau. Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004/A1: 2014
- [2] Europäische Technische Bewertung ETA-19/0310 vom 21. Februar 2022 für die Durchstanzbewehrung CLIXS von BETOMAX, Deutsches Institut für Bautechnik, 2022
- [3] Günther, G. et al.: Untersuchung des Durchstanzwiderstands von Stahlbetondecken infolge von Blechen als Einbauteile, THM Versuchsberichte 30 A bis 30 O, 2006 bis 2022
- [4] Hegger, J.; Sieburg, C.: Gutachterliche Stellungnahme zu Anpassungen von Anwendungsregeln der CLIXS Durchstanzbewehrung, 2021
- [5] CLIXS-Berechnungsprogramm von BETOMAX systems, [www.betomax.com](http://www.betomax.com), 2022

## Weitere Informationen

**BETOMAX Systems GmbH & Co. KG**

**Postfach 10 01 52 | D-41401 Neuss**

**Dyckhofstrasse 1 | D-41460 Neuss**

**[www.betomax.com](http://www.betomax.com)**

**Tel: [+49/2131/2797-0](tel:+49213127970)**

**E-Mail: [info@betomax.de](mailto:info@betomax.de)**