

# MAXIMALER DURCHSTANZWIDERSTAND VON FLACHDECKEN, BODENPLATTEN UND GRÜNDUNGEN MIT DOPPELKOPFBOLZEN

Autoren:  
Jan Bujnak, PhD, R&D Manager, Peikko Group  
Jakub Mear, R&D Engineer, Peikko Group  
Patrick Schmidt, R&D Manager, Peikko Group

## 1. EINFÜHRUNG

Der Durchstanzwiderstand ist oftmals maßgebend für die Ermittlung der Dicke von Decken, Bodenplatten und Fundamenten.

Die Tragfähigkeit und Dicke kann durch die Verwendung einer Durchstanzbewehrung optimiert werden. Doppelkopfbolzen zählen aktuell zu den effektivsten am Markt verfügbaren Durchstanzbewehrungen. Diverse aktuell verfügbare Europäische Technische Zulassungen (ETA) enthalten die entsprechenden Bemessungsregeln für Bodenplatten und Fundamente mit den jeweiligen Doppelkopfbolzen.

Die Bemessungsmethoden sind dabei annähernd identisch, unterscheiden sich jedoch bei der Festsetzung des maximalen Durchstanzwiderstandes. Die Hintergründe und praktischen Auswirkungen werden nachfolgend erläutert.

Der Eurocode DIN EN 1992-1-1 [1] enthält die Regelungen zur Überprüfung des Durchstanzwiderstandes von Flachdecken, Bodenplatten und Fundamenten mit Durchstanzbewehrung. Diese Regelungen beinhalten die Überprüfung der Tragfähigkeit im kritischen Rundschnitt, im äußeren Rundschnitt, die Tragfähigkeit der Durchstanzbewehrung  $V_{Rd,s}$  und des maximalen Durchstanzwiderstandes  $v_{Rd,max}$ .

Der Anwendungsbereich von DIN EN 1992-1-1 [1] ist beschränkt auf bewehrte Platten mit konventioneller Schubbewehrung (Abbildung 1). Doppelkopfbolzen stellen eine sehr effiziente Maßnahme zur Verstärkung von Platten gegen Durchstanzversagen dar.

Doppelkopfbolzen werden derzeit von diversen Herstellern produziert und auf dem Markt unter verschiedenen Markennamen angeboten. Seit 2012 wurden mehrere Europäische Technische Zulassungen für

Doppelkopfbolzen als Durchstanzbewehrung erteilt. Diese Zulassungen definieren sowohl die Anwendungsbedingungen der Doppelkopfbolzen als auch die zugehörigen Bemessungsverfahren für Platten und Fundamente.

Dabei beruhen die Bemessungsansätze für die Überprüfung der Widerstände im kritischen und äußeren Rundschnitt auf den Regelungen nach DIN EN 1992-1-1 [1] und wurden auf Grundlage empirischer Untersuchungen um die Ermittlung der Stahltragfähigkeit  $V_{Rd,s}$  bzw. des maximalen Durchstanzwiderstandes  $v_{Rd,max}$  erweitert.

Während die vorliegenden Europäischen Technischen Zulassungen bei der Ermittlung der Tragwiderstände von Flachdecken ein identisches Verfahren enthalten, ergeben sich für die Ermittlung der maximalen Durchstanzwiderstände  $v_{Rd,max}$  abweichende Werte [6].

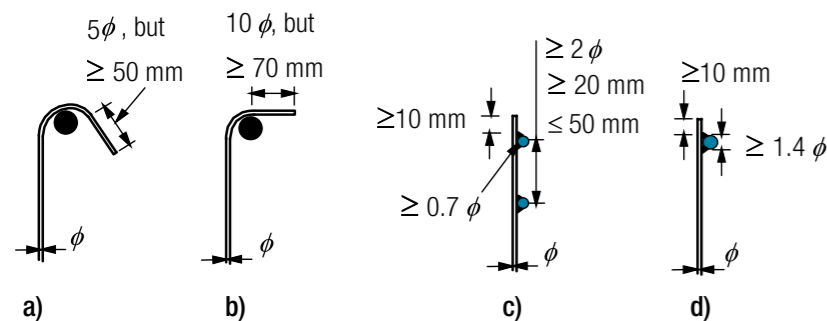


Abbildung 1. Durchstanzbewehrung gemäß DIN EN 1992-1-1 [1]

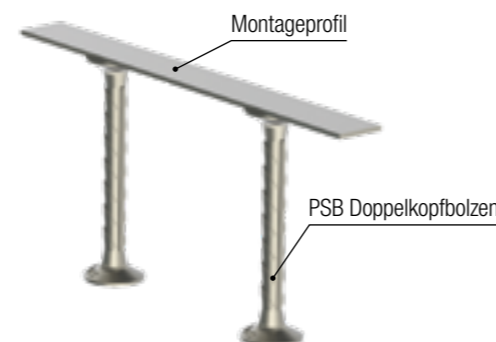


Abbildung 2. Peikko PSB Doppelkopfbolzen

## 2. BEMESSUNG VON FLACHDECKEN UND BODENPLATTEN GEMÄSS EUROPÄISCHEN TECHNISCHEN ZULASSUNGEN

Die Bemessung der Durchstanzbewehrungen in Flachdecken und Bodenplatten beinhaltet typischerweise folgende Nachweise:

- Widerstand im kritischen Rundschnitt
- Widerstand im äußeren Rundschnitt
- Widerstände der Durchstanzbewehrung
- Maximaler Durchstanzwiderstand der Platte
- Abstandsregeln zur Anordnung der Durchstanzbewehrung

Ziel dieses Beitrags ist die Erläuterung der Bestimmungen zur Ermittlung des maximalen Durchstanzwiderstandes von Platten. Hintergründe und Details über weitere Nachweise entsprechen den Regelungen nach DIN EN 1992-1-1 [7-10].

### 2.1 Widerstand einer Bodenplatte oder eines Fundamentes ohne Durchstanzbewehrung

Der Nachweis der Tragfähigkeit im kritischen Rundschnitt wird wie folgt geführt:

$$V_{Ed} \leq v_{Rd,c} \quad (1)$$

mit  
 $V_{Ed}$  = Schubspannung im kritischen Rundschnitt  
 $v_{Rd,c}$  = Durchstanzwiderstand im kritischen Rundschnitt

Die Schubspannung im kritischen Rundschnitt wird wie folgt bestimmt:

$$v_{Ed} = \frac{\beta \cdot (V_{Ed} - \Delta V)}{u \cdot d} \quad (2)$$

mit  
 $u$  = kritischer Rundschnitt  
 $d$  = effektive Höhe der Platte  
 $\beta$  = Lasterhöhungsfaktor  
 $V_{Ed}$  = Bemessungswert der Durchstanzlast  
 $\Delta V$  = Lastreduktion infolge Sohlpressung

Der kritische Rundschnitt  $u$  ergibt sich im Abstand  $a$  von der Stütze aus iterativer Ermittlung [7]. Die Werte des Faktors  $\beta$  wurden anhand der Tabelle 1 bestimmt. Eine weitere detaillierte Möglichkeit zur Berechnung des Faktors  $\beta$  wird in DIN EN 1992-1-1 [1], Abschnitt 6.4.3 beschrieben.

Die Lastreduktion infolge Sohlpressung erfolgt als:

$$\Delta V = V_{Ed} \cdot \frac{A_{crit}}{A} \quad (3)$$

Dabei entspricht  $A_{crit}$  dem Bereich innerhalb des kritischen Rundschnitts und  $A$  der Aufstandsfläche des Fundaments, bei Bodenplatten der durch die in radialer Richtung verlaufenden Momente-Nullpunkte begrenzte Fläche.

Der Durchstanzwiderstand von Bodenplatten und Fundamenten ohne Durchstanzbewehrung ergibt sich aus:

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot \frac{2 \cdot d}{a} \geq v_{min} \cdot \frac{2 \cdot d}{a} \quad (4)$$

mit  
 $f_{ck}$  = Charakteristischer Wert der Betondruckfestigkeit

$C_{Rd,c}$ : 0,15/ $\gamma_c$  für gedrungene Fundamente mit  $a/d \leq 2,0$  (Abbildung 3)

0,18/ $\gamma_c$  für schlanke Fundamente und Bodenplatten

$$k = 1 + \sqrt{200/d} \leq 2,0$$

$\rho_l$  = gemittelter Bewehrungsgrad in x- und y-Richtung

$$= \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} \leq 0,02 \leq 0,5 \cdot f_{cd} / f_{yd}$$

$$v_{min} = 0,0375 / \gamma_c \cdot k_d^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} \text{ für } d \geq 800 \text{ mm}$$

$$= 0,0375 / \gamma_c \cdot k_d^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} \text{ für } d \leq 600 \text{ mm ;}$$

Zwischenwerte sind interpoliert

### 2.2 Widerstand einer Bodenplatte oder eines Fundaments mit Doppelkopfbolzen

Zur Aktivierung des äußeren Rundschnitts ist eine ausreichende Durchstanzbewehrung der Platte erforderlich:

$$u_{out} = \frac{\beta_{red} \cdot V_{Ed}}{v_{Rd,c} \cdot d} \quad (5)$$

Der Durchstanzwiderstand von Bodenplatten und Fundamenten im äußeren Rundschnitt ergibt sich nach Formel (4) unter Berücksichtigung des empirisch abgeleiteten Faktors  $C_{Rd,c} = 0,15/\gamma_c$ .

Dabei wird der empirische Faktor  $C_{Rd,c} = 0,15/\gamma_c$  für Flachdecken und Gründungen eingesetzt. Der Faktor  $\beta_{red}$  wird gemäß Tabelle 1 berechnet.

Der Tragwiderstand von Bodenplatten und Fundamenten mit Doppelkopfbolzen wird wie folgt bestimmt:

$$\beta \cdot (V_{Ed} - \Delta V) \leq V_{Rd,s} \quad (6)$$

und

$$\beta \cdot (V_{Ed} - \Delta V) \leq v_{Rd,max} \cdot u \cdot d \quad (7)$$

Der Widerstand der Doppelkopfbolzen wird wie folgt berechnet:

$$V_{Rd,s} = f_{ywd} \cdot A_{sw0,8d} \quad (8)$$

Hierbei ist  $A_{sw0,8d}$  die Querschnittsfläche der Durchstanzbewehrung in einem Abstand von 0,3· $d$  bzw. 0,8· $d$  von der Außenkante der Stütze.

Tabelle 1. Lasterhöhungsfaktoren  $\beta$  und  $\beta_{red}$

	Innere Stütze	Randstütze	Eckstütze	Wand-ecke	Ende einer Wand
$\beta$	1,1	1,4	1,5	1,20	1,35
$\beta_{red}$	1,1	$\frac{\beta}{1,2 + \beta/20 \cdot l_s \cdot d} \geq 1,1$	$\frac{\beta}{1,2 + \beta/15 \cdot l_s \cdot d} \geq 1,1$	1,0	1,0

Tabelle 2. Werte von  $k_{max}$  nach ETA-Zulassungen und DIN EN 1992-1-1

Bauteil/Abweichung		DIN EN 1992-1-1 [1]	ETA 13/0151 [5]	andere ETA-Zulassungen [2-4]
Flachdecken	-	1,4	1,96	1,96
Abweichung ETA/DIN EN 1992-1-1	%	-	40	40
Bodenplatte / Fundamente	-	1,4	1,62	1,5
Abweichung ETA/DIN EN 1992-1-1	%	-	15	7

Der maximale Durchstanzwiderstand einer Bodenplatte mit Doppelkopfbolzen nach DIN EN 1992-1-1 [1] beträgt:

$$v_{Rd,max} = k_{max} \cdot v_{Rd,c} \quad (9)$$

wobei der empirische Faktor  $k_{max}$  den Einfluss der Verankerungseigenschaften der Durchstanzbewehrung bei der Ermittlung des maximalen Durchstanzwiderstandes berücksichtigt.

DIN EN 1992-1-1 [1] beschreibt den Faktor  $k_{max} = 1,4$  für Flachdecken, Bodenplatten und Fundamente mit konventionellen Typen der Durchstanzbewehrung [11, 12]. Die Richtlinie CUAP 03.01/05 [13] des DIBt für die Entwicklung von ETA-Zulassungen beschreibt die folgenden Anforderungen für die Bestimmung von  $k_{max}$  für Flachdecken, Bodenplatten und Fundamente mit konventionellen Typen der Durchstanzbewehrung:

- **Flachdecke:**  
 $k_{max}$  bestimmt durch statistische Auswertung von mindestens sechs Bauteilversuchen an Flachdecken mit Doppelkopfbolzen.
- **Bodenplatten und Fundamente:**  
 $k_{max}$  bestimmt durch die statistische Auswertung von drei vollwertigen Tests an bewehrten Gründungen mit Doppelkopfbolzen; bei nicht ausreichenden Testergebnissen für Bodenplatten oder Flachdecken mit Doppelkopfbolzen kann der Wert  $k_{max} = 1,5$  aus der ETA-Zulassung berücksichtigt werden.

Ein Vergleich der Werte  $k_{max}$  in den vorhandenen ETA-Zulassungen ist in Tabelle 2 enthalten. Für weiterführende Informationen zu den Zulassungsversuchen für Flachdecken und Fundamenten mit Peikko PSB Durchstanzbewehrung nach ETA 13/0151 siehe [13]-[15]. Für die Abstandsregelungen der Doppelkopfbolzen gilt Abbildung 3.

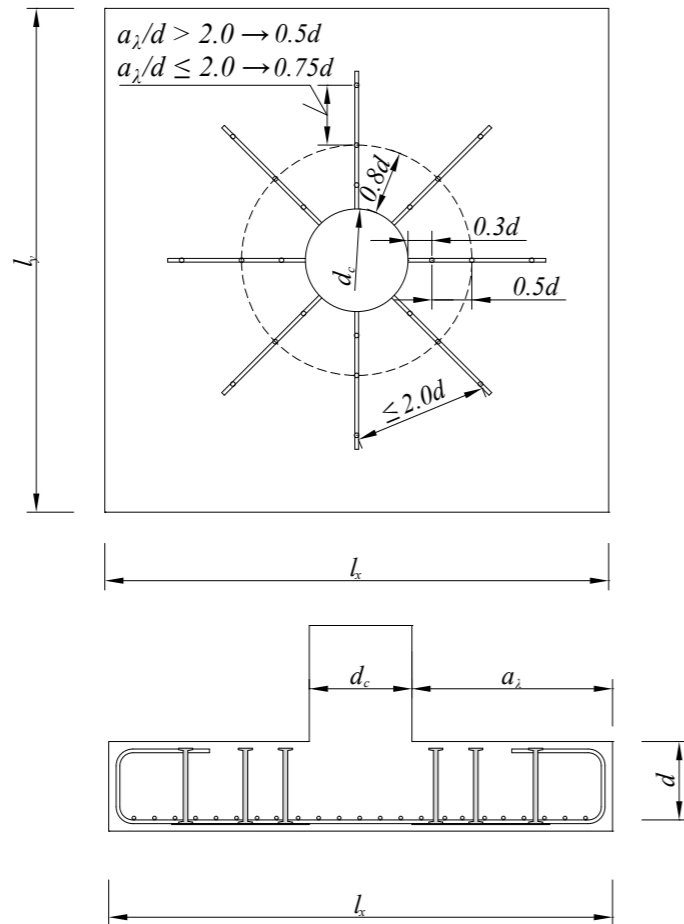


Abbildung 3. Abmessungen und Abstandsregeln für Fundamente mit Doppelkopfbolzen

Tabelle 3. Mindestplattenhöhe bei einer Durchstanzlast von  $V_{Ed} = 4000 \text{ kN}$

		DIN EN 1992-1-1 [1]	ETA 13/0151 [5]	andere ETA-Zulassungen [2-4]
$V_{Rd,c}$	[kN]	2429,5	1786,6	1910,3
$V_{Rd,max}$	[kN]	3401,3	3473,1	3438,5
$d$	[mm]	530	430	450
$h_d$	[mm]	<b>590</b>	<b>490</b>	<b>510</b>

### 3. ANWENDUNGSBEISPIEL

Nachfolgendes Beispiel beinhaltet die Ermittlung der Durchstanzttragfähigkeiten eines nach ETA 13/0151 bewehrten Fundamentes.

Betongüte	C35/45
Fundamentabmessungen	$l_x = 2700 \text{ mm}; l_y = 2700 \text{ mm}$
Fundamentdicke	$h_d = 490 \text{ mm}$
Biegebewehrung	$A_{s,x} = A_{s,y} = 2856 \text{ mm}^2 (\phi 20/110)$
Betondeckung, unten	$c_u = 40 \text{ mm}$
Durchmesser der kreisförmigen Stütze	$d_c = 550 \text{ mm}$
Durchstanzlast	$V_{Ed} = 4000 \text{ kN}$

Effektive Höhe des Fundaments in x- und y- Richtung:

$$d_x = h_d - c_u - \frac{\phi}{2} = 490 - 40 - 10 = 440 \text{ mm}$$

$$d_y = h_d - c_u - \frac{3\phi}{2} = 490 - 40 - 30 = 420 \text{ mm}$$

Durchschnittswert der effektiven Höhe:

$$d = \frac{d_x + d_y}{2} = \frac{440 + 420}{2} = 430 \text{ mm}$$

Bewehrungsgrad:

$$\rho_x = \frac{A_{sx}}{1000 \cdot d_x} = \frac{2856}{1000 \cdot 440} = 6,49\%$$

$$\rho_y = \frac{A_{sy}}{1000 \cdot d_y} = \frac{2856}{1000 \cdot 420} = 6,8\%$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_x + \rho_y} = \sqrt{6,49 + 6,8} = 6,643\%$$

Abstand  $a$  von der Stütze zum kritischen Rundschnitt wird durch eine iterative Berechnung ermittelt (Abbildung 4):

$$\frac{a_l}{d} = \frac{1075}{428} = 2,511 \rightarrow \text{schlankes Fundament}$$

Länge des kritischen Rundschnitts  $u$ :

$$u = (d_c + 2a) \cdot \pi = (550 + 2 \cdot 457) \cdot \pi = 4599 \text{ mm}$$

Wert  $v_{min}$  wird berechnet mit:

$$v_{min} = 0,0525/\gamma_c \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,0525/1,5 \cdot 1,682$$

$$\text{mit } k = 1 + \sqrt{\frac{200}{430}} = 1,682$$

Der maximale Durchstanzwiderstand eines Fundaments  $v_{Rd,max}$  im kritischen Rundschnitt ergibt sich nach Gleichung (9) mit  $k_{max} = 1,62$  zu:

$$v_{Rd,max} = k_{max} \cdot v_{Rd,c} = 1,62 \cdot \max \left( \frac{0,18}{1,5} \cdot 1,682 \cdot (0,6643 \cdot 35)^{1/3} \cdot \frac{2 \cdot 430}{457}; \frac{0,452 \cdot 2 \cdot 430}{457} \right) = 1,756 \text{ MPa}$$

Nachweis der Fundamenttragfähigkeit:

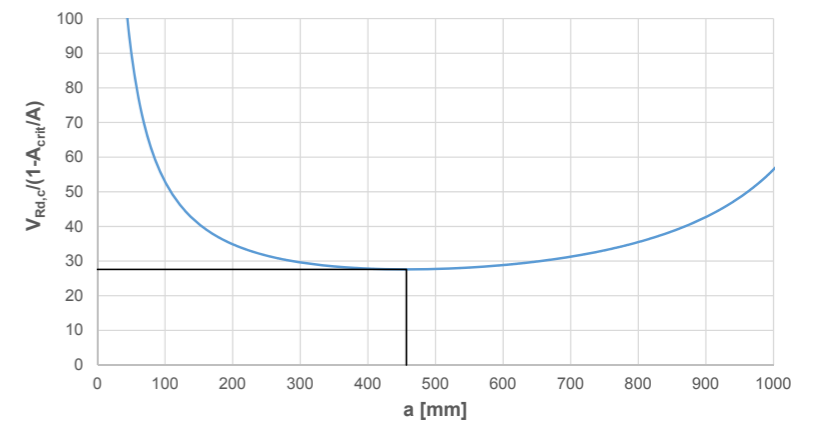
$$\beta \cdot (V_{Ed} - \Delta V) = \beta \cdot \left( V_{Ed} - V_{Ed} \cdot \frac{A_{crit}}{A} \right) = 1,10 \cdot \left( 4000 - 4000 \cdot \frac{(550 + 2 \cdot 457)^2 \cdot 0,25 \cdot \pi}{2700^2} \right) = 3384 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} = v_{Rd,max} \cdot u \cdot d = 1,756 \text{ MPa} \cdot 4599 \text{ mm} \cdot 430 \text{ mm} / 1000 = 3472,6 \text{ kN}$$

$$\beta \cdot (V_{Ed} - \Delta V_{Ed}) = 3384 \text{ kN} < V_{Rd,max} = 3472,6 \text{ kN}$$

Die oben beschriebene Berechnung gemäß ETA 13/0151 mit  $k_{max} = 1,62$  zeigt, dass das Fundament mit der Höhe  $h_d = 490 \text{ mm}$  in Verbindung mit der Peikko PSB Durchstanzbewehrung ausreichend tragfähig ist, um eine Durchstanzlast von  $V_{Ed} = 4000 \text{ kN}$  sicher zu übertragen. Die minimal erforderlichen Fundamenthöhen zur Übertragung der gleichen Durchstanzlast nach anderen Europäischen Technischen Zulassungen für Doppelkopfbolzen [2-4] mit  $k_{max} = 1,5$  bzw. nach DIN EN 1992-1-1 [1] mit  $k_{max} = 1,4$  sind in Tabelle 3 enthalten.

Abbildung 4. Iteratives Verfahren zur Bestimmung des kritischen Rundschnitts



### 4. ZUSAMMENFASSUNG

Die ETA-Zulassungen beschreiben den regulativen Rahmen für die Bemessung und Anwendung von Doppelkopfbolzen als Durchstanzbewehrung in Europa. Diese ETA-Zulassungen referenzieren in Teilen auf DIN EN 1992-1-1 und beinhalten gleichzeitig versuchsbasierende proprietäre Bemessungsmethoden. Die praktischen Vorteile, die sich aus der Verwendung der ETA-Zulassungen für die Planung von Bodenplatten und Fundamenten ergeben, lauten demnach:

- Eine Bodenplatte oder ein Fundament mit Doppelkopfbolzen verfügt über einen weitaus höheren maximalen Durchstanzwiderstand als eine mit konventioneller Schubbewehrung bewehrte Bodenplatte oder Fundament.
- Die ETA-Zulassungen [2-4] erlauben eine Erhöhung des maximalen Durchstanzwiderstandes einer Bodenplatte, bzw. eines Fundamentes um ca. 7% im Vergleich zu einer bügelbewehrten Platte.
- Nach ETA 13/0151 [5] ist hingegen eine Vergrößerung des maximalen Durchstanzwiderstandes um ca. 15% zulässig.

## LITERATUR

- [1] DIN EN 1992-1-1: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton und Spannbetontragwerken. Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau. Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004 + AC:2010. Berlin: Beuth, Januar 2011.
- [2] ETA-12/0454: HALFEN HDB Dübelleiste: Doppelkopfkanker als Durchstanzbewehrung. Berlin: Deutsches Institut für Bautechnik, Dezember 2012.
- [3] ETA-13/0076: Durchstanzbewehrung Schöck Bole: Durchstanzbewehrung mit Doppelkopfbolzen für punktförmig belastete Platten und Fundamente. Berlin: Deutsches Institut für Bautechnik, März 2013.
- [4] ETA-13/0136: JORDAHL Durchstanzbewehrung JDA: Doppelkopfkanker als Durchstanzbewehrung für punktförmig belastete Platten und Fundamente. Berlin: Deutsches Institut für Bautechnik, März 2013.
- [5] ETA-13/0151: PEIKKO PSB Durchstanzbewehrung: Doppelkopfkanker als Durchstanzbewehrung. Berlin: Deutsches Institut für Bautechnik, Juni 2013.
- [6] Berichtigung zu Ricker, M.; Häusler, F.: Europäische Bemessungsregeln für Doppelkopfkanker als Durchstanzbewehrung. In: Beton- und Stahlbetonbau 109 (2014), Heft 4, S. 310.
- [7] RICKER, M.; SIBURG, C.; HEGGER, J.: Durchstanzen von Fundamenten nach NA(D) zu Eurocode 2. In: Bauingenieur 87 (2012), Heft 6, S. 267–276.
- [8] GORIS, A.: Zum Durchstanznachweis von Einzelfundamenten nach EC2 – Bemessungshilfen für Einzelfundamente ohne Durchstanzbewehrung. In: Beton- und Stahlbetonbau 109 (2014), Heft 5, S. 314–321.
- [9] KUERES D.; Siburg, C.; HERBRAND M.; CLASSEN M.; HEGGER J.: Einheitliches Bemessungsmodell gegen Durchstanzen in Flachdecken und Fundamenten. In: Beton- und Stahlbetonbau 111 (2016), Heft 1, S. 9–19.
- [10] SIBURG, C.: Zureinheitlichen Bemessung gegen Durchstanzen in Flachdecken und Fundamenten. Dissertation. RWTH Aachen, Institut für Massivbau, 2014
- [11] HEGGER, J.; WALRAVEN, J. C.; HÄUSLER, F.: Zum Durchstanzen von Flachdecken nach Eurocode 2. In: Beton- und Stahlbetonbau 105 (2010), Heft 4, S. 206–215.
- [12] SIBURG, C.; HEGGER, J.: Experimentelle Untersuchungen zum Durchstanzen von Einzelfundamenten mit baupraktischen Abmessungen. In: Beton- und Stahlbetonbau 108 (2013), Heft 7, S. 452–461.
- [13] CUAP03.01/05, Common Understanding of Assessment Procedure, Double headed studs for the increase of punching resistance in flat slabs on column, for European Technical Approval. Berlin: Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Februar 2012.
- [14] EINPAUL J.; BUJNAK J.; FERNANDEZ RUIZ M.; MUTTONI A.: Study on Influence of Column Size and Slab Slenderness on Punching Strength. In: ACI Structural Journal, 113 (2016), Farmington Hills, USA, S. 135–145.
- [15] SIMOES J.; BUJNAK J.; FERNANDEZ RUIZ M.; MUTTONI A.: Punching shear tests on compact footings with uniform soil pressure. In: Structural Concrete. ■

$V_{Rd,max}$	Maximaler Durchstanzwiderstand einer mit Doppelkopfbolzen bewehrten Platte
$V_{Rd,c}$	Widerstand der Platte ohne Durchstanzbewehrung
$u_1$	Innerer kritischer Rundschnitt
$d$	Effektive Höhe der Platte
$g$	Empirischer Faktor
$f_{cd}$	Betondruckfestigkeit
$u_0$	Umfang der Stütze
$k_{max}$	Faktor über den Einfluss der Verankerungseigenschaften der Durchstanzbewehrung
$r_s$	Faktor zur Berücksichtigung der Spannweite einer Platte

### PSB DURCHSTANZ- UND SCHUBBEWEHRUNGSSYSTEM

für Stahlbeton-Konstruktionen in Ort beton- und Fertigteilbauweise.

Video auf YouTube ansehen:

