

Verbundbau - WS 2014/2015

10. / 11. Vorlesung / Übung

Daniel Pak

08.01.2015

15.01.2015



Terminübersicht und Übungsinhalte

Termin	Thema	Inhalt
09.10.2014	Einführung ULS 1	Übersicht Stahlbau IV, Vorstellung der PVL, Allgemeines zum Verbundbau, Klassifizierung, Schnittgrößenermittlung
16.10.2014	ULS 2	plastische Momententragfähigkeit
23.10.2014	ULS 3	elastische Momententragfähigkeit, Biegung und Querkraft
06.11.2014	ULS 4, Verbundmittel	Verbundmittel
13.11.2014	Biegedrillknicken	Biegedrillknicken
20.11.2014	Verbundstützen 1	Einführung, Berechnungsverfahren
27.11.2014	Verbundstützen 2 Berechnung nach Elastizitätstheorie 1	Interaktion Biegung+Normalkraft
04.12.2014	Berechnung nach Elastizitätstheorie 2	Berücksichtigung zeitabhängigem Verhaltens, Gesamtquerschnittsverfahren
18.12.2014	Berechnung nach Elastizitätstheorie 3	Berücksichtigung zeitabhängigem Verhaltens, Gesamtquerschnittsverfahren
08.01.2015	Berechnung nach Elastizitätstheorie 4 Verbunddecken	Gesamtquerschnittsverfahren Einführung, Berechnungsverfahren
15.01.2015	Verbunddecken Anschlüsse im Verbundbau	Berechnungsbeispiel Entwurf von Anschlüssen
22.01.2015	Erhaltung stählerner Tragwerke	Richtlinien (Brückenbauwerke) Praxisbeispiel Eisenbahnhochbrücke Hochdonn

Normen

- Erhältlich als Download in www.perinorm.com
DIN EN 1994-1-1 + NA



Weitere Literatur

- Kuhlmann, U., Stahlbau Kalender 2010 (Verbundbau), Ernst & Sohn, Berlin 2010
- Minnert, J., Wagenknecht, G., Verbundbau-Praxis, Berechnung und Konstruktion nach Eurocode 4, Beuth Verlag, Berlin 2013

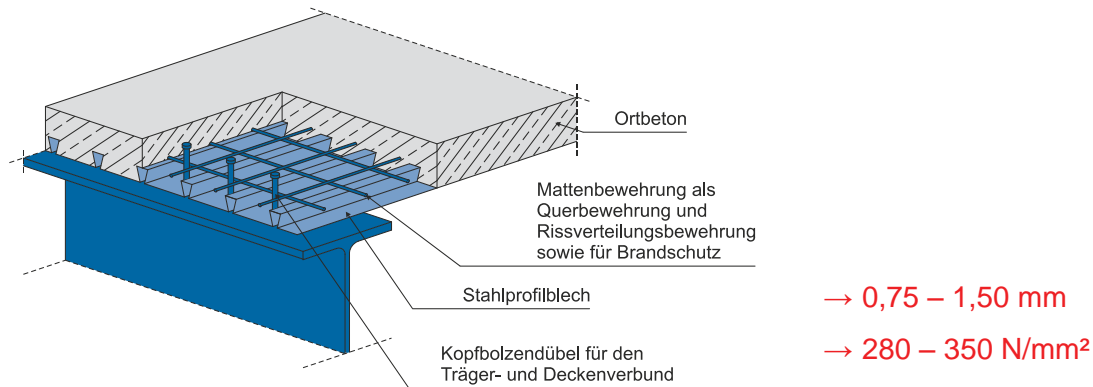
Verbunddecken

1. Verbunddecken

1. Verbunddecken

1.1 Allgemeines

DIN EN 1994-1-1: 2010-12, Kap. 9



- Profilbleche werden aus feuerverzinktem Stahlfeinblech durch Kaltumformung hergestellt.
- Es wird zwischen zwei Profilblecharten unterschieden:
 - Hinterschnittene Profilbleche (mit oder ohne Noppen)
 - Offene Trapezprofile mit Quersicken (mit oder ohne Noppen)

1.2 Vor- und Nachteile

- Bauliche Vorteile
 - Die Profilbleche sind schnell von Hand verlegbar.
 - Kippsicherung der Träger durch Profilbleche
 - Installationsleitungen können bequem befestigt werden
 - Profilbleche haben im „nackten“ Zustand (ohne Beton) eine hohe Tragfähigkeit als Schalung
 - Im Endzustand wirkt das Profilblech als Bewehrung (Voraussetzung: gute Verbundeigenschaften)
 - Wirtschaftliche Erfüllung von Brandschutzanforderungen
- Nachteil: Bauaufsichtliche Zulassungen notwendig (Versuche)

1.3 Tragwirkungsarten

Druckbogen

1.3 Tragwirkungsarten

Reibungsverbund

1.3 Tragwirkungsarten

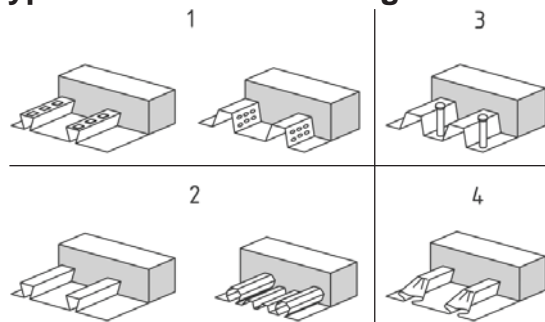
Mechanischer Verbund

1.3 Tragwirkungsarten

offene Profilbleche / hinterschnittene Profilbleche

1.3 Verbundwirkung

Typische Verbundwirkungen



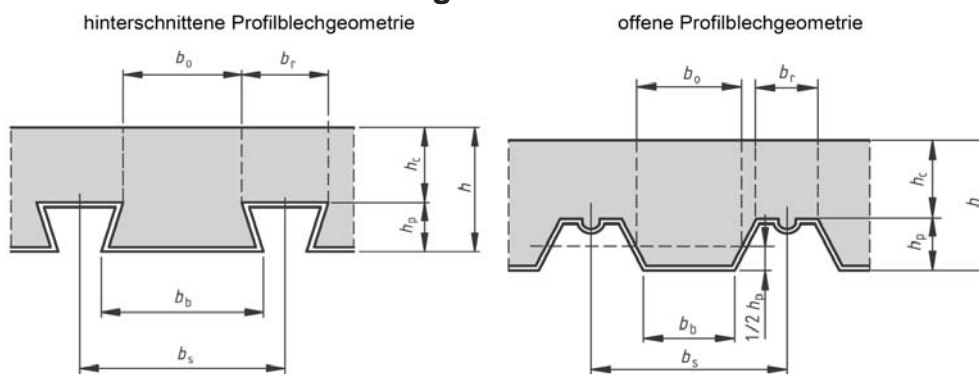
→ Eine optimale Lösung wird häufig durch eine Kombination der einzelnen Verbundwirkungen erreicht

- (1) Mechanischer Verbund
- (2) Reibungsverbund
- (3) Endverankerung mit durchgeschweißten Dübeln
- (4) Endverankerung mit Blechverformungsankern

DIN EN 1994-1-1: 2010-12, Kap. 9.1.2.1

1.4 Konstruktionsgrundsätze

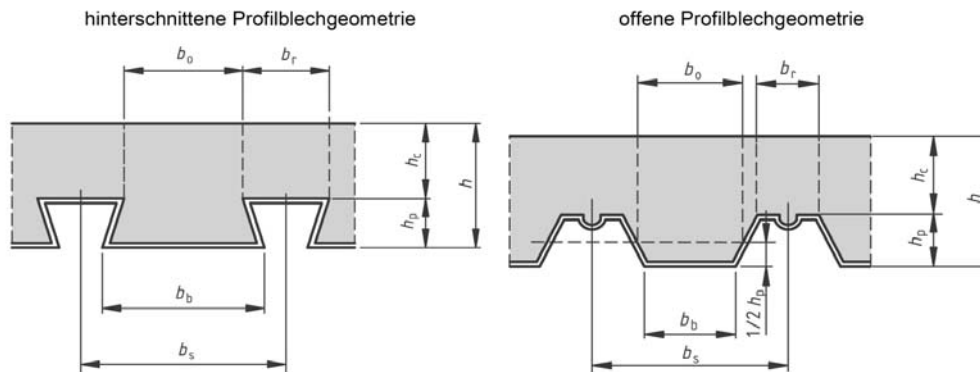
Deckendicke und Bewehrung



- $h \geq 80 \text{ mm}$ und $h_c \geq 40 \text{ mm}$
- $h \geq 90 \text{ mm}$ und $h_c \geq 50 \text{ mm}$ wenn Verbunddecke gleichzeitig Gurt eines Verbundträgers ist
- Längs- und Querbewehrung im Aufbeton ($0,8 \text{ cm}^2/\text{m}$ Mindestbewehrung quer und längs)
- $s_{\text{quer/längs}} \leq \min(2h; 350 \text{ mm})$

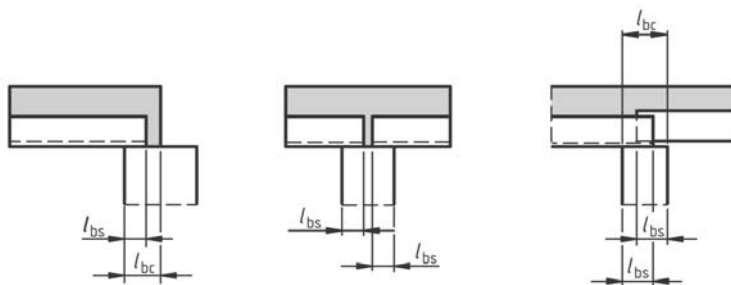
DIN EN 1994-1-1: 2010-12, Kap. 9.2.1

Zuschlagstoffe



- Zulässiger Größtkorndurchmesser der Zuschlagstoffe wird durch die kleinsten Bauteilabmessungen bestimmt
- $d_{\text{Größtkorn}} \leq \min (0,4 h_c; b_o/3; 31,5 \text{ mm})$

Auflagerung der Bleche

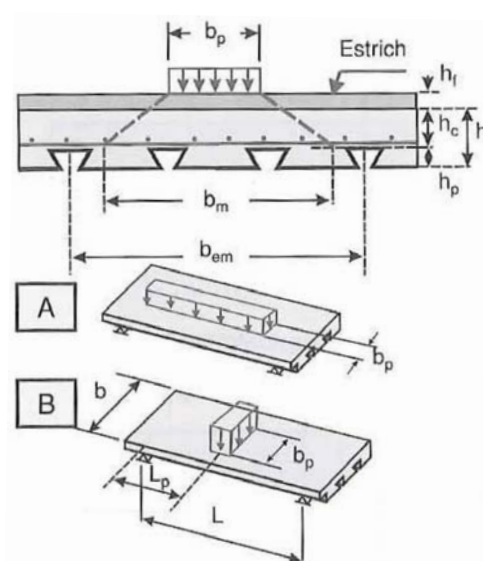


Folgende Auflagertiefen dürfen nicht unterschritten werden:

- Bei Auflagerung auf Stahl oder Beton: $l_{bc} = 75 \text{ mm}$ und $l_{bs} = 50 \text{ mm}$
- Bei Auflagerung auf anderen Werkstoffen: $l_{bc} = 100 \text{ mm}$ und $l_{bs} = 70 \text{ mm}$

Auflagerung der Bleche

1.5 Mittragende Breite bei konzentrierten Einzel- und Linienlasten



L_p Abstand des Schwerpunkts
der Last zum nächsten /
benachbarten Auflager

Lasteinleitungsbreite b_m :

Fall A: Einzel- und Linienlasten parallel
zur Spannrichtung

$$b_m = b_p + 2 (h_c + h_f) \leq b$$

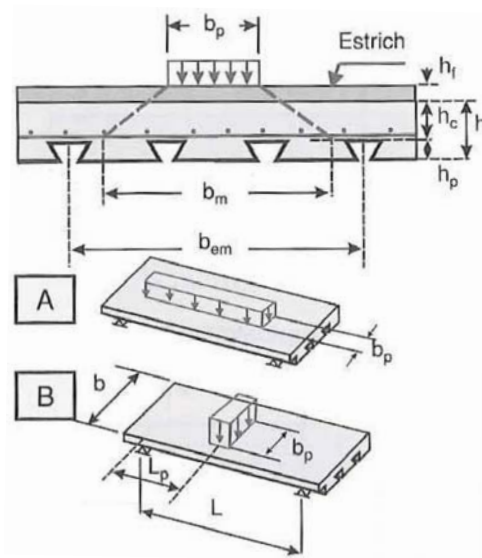
Fall B: Linienlasten senkrecht zur Spannrichtung

$$b_m = b_p + 2 (h_c + h_f) \leq b,$$

mit: b_p = Lasteinleitungslänge

1.5 Mittragende Breite bei konzentrierten Einzel- und Linienlasten

DIN EN 1994-1-1: 2010-12, Kap. 9.4.3



L_p Abstand des Schwerpunkts der Last zum nächsten / benachbarten Auflager

Mittragende Breite b_{em} :Für $h_p/h \leq 0,6$ gilt:

- Biegung bei Einfeldplatten und für die Endfelder von Durchlaufträgern:

$$b_{em} = b_m + 2 L_p [1 - L_p/L] \leq b$$

- Biegung in den Innenfeldern von Durchlaufplatten:

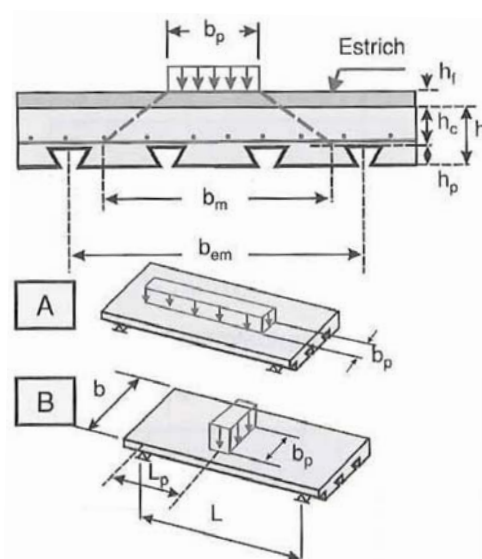
$$b_{em} = b_m + 1,33 L_p [1 - L_p/L] \leq b$$

- Querkraft

$$b_{ev} = b_m + L_p [1 - L_p/L] \leq b$$

1.5 Mittragende Breite bei konzentrierten Einzel- und Linienlasten

DIN EN 1994-1-1: 2010-12, Kap. 9.4.3

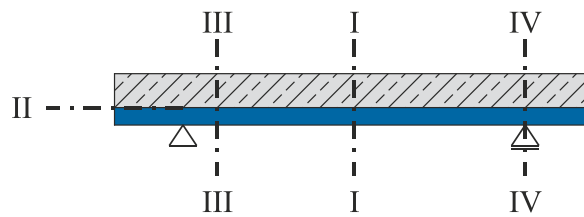


L_p Abstand des Schwerpunkts der Last zum nächsten / benachbarten Auflager

Mittragende Breite b_{em} :Für $h_p/h > 0,6$ gilt:

- Schnittgrößenermittlung unter Berücksichtigung der Anisotropie der Decke
- Weitere Angaben siehe DIN EN 1994-1-1, 9.4.3

1.6 Versagensarten



Schnitt I-I: Biegeversagen im positiven Momentenbereich

- maßgebend bei Vollverdübelung

Schnitt II-II: Längsschubversagen in der Verbundfuge

- Teilverdübelung
- Biegetragfähigkeit M_{Rd} wird nicht erreicht
- Schlupf in der Verbundfuge

Schnitt III-III: Querkraftversagen des Betons

Schnitt IV-IV: Biegeversagen im negativen Momentenbereich

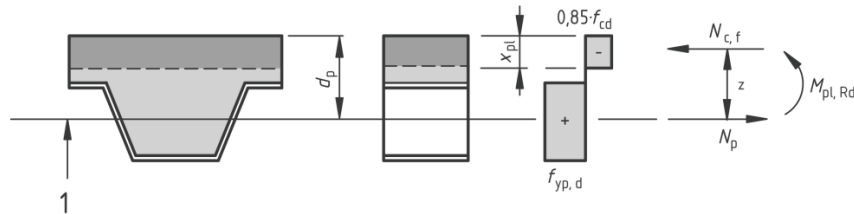
1.6 Versagensarten

zu Schnitt I-I

1.7 Tragfähigkeitsnachweise

Biegung

- positive Momentenbeanspruchung (x_{pl} im Aufbeton)



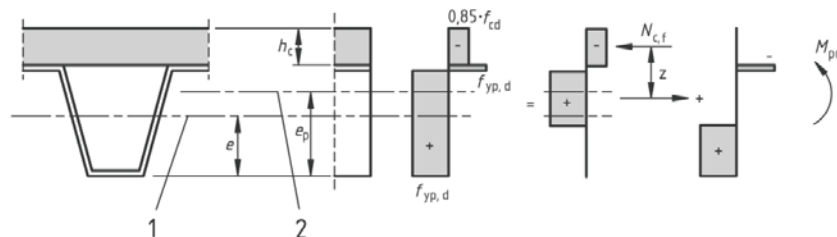
Legende

- 1 Schwerachse des Profilbleches

1.7 Tragfähigkeitsnachweise

Biegung

- positive Momentenbeanspruchung (x_{pl} im Profilblech)



Legende

- 1 elastische Schwerachse des Profilbleches
2 plastische Nulllinie des Profilbleches

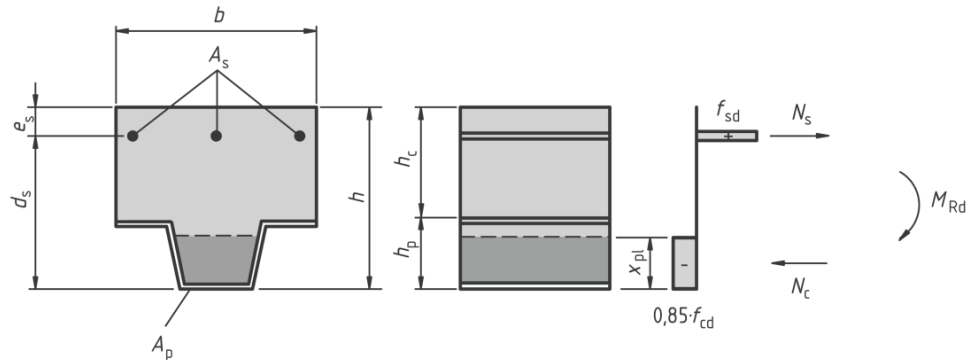
$$z = h - 0,5 \cdot h_c - e_p + (e_p - e) \cdot \frac{N_{c,f}}{A_{pe} \cdot f_{yp,d}}$$

$$M_{pr} = 1,25 \cdot M_{pa} \left(1 - \frac{N_{c,f}}{A_{pe} \cdot f_{yp,d}} \right) \leq M_{pa}$$

1.7 Tragfähigkeitsnachweise

Biegung

- negative Momentenbeanspruchung (unter Vernachlässigung des Profilblechs)



1.7 Tragfähigkeitsnachweise

Querkraft

- Querschnitt ohne rechnerische Querkraftbewehrung

$$V_{Rd,c} = \left[\frac{0,15}{\gamma_c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} - 0,12 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d \geq V_{Ed}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d [mm]}} \leq 2,0$$

Einfluss der Bauteilhöhe

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0,02$$

Längsbewehrungsgrad

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} < 0,2 \cdot f_{cd}$$

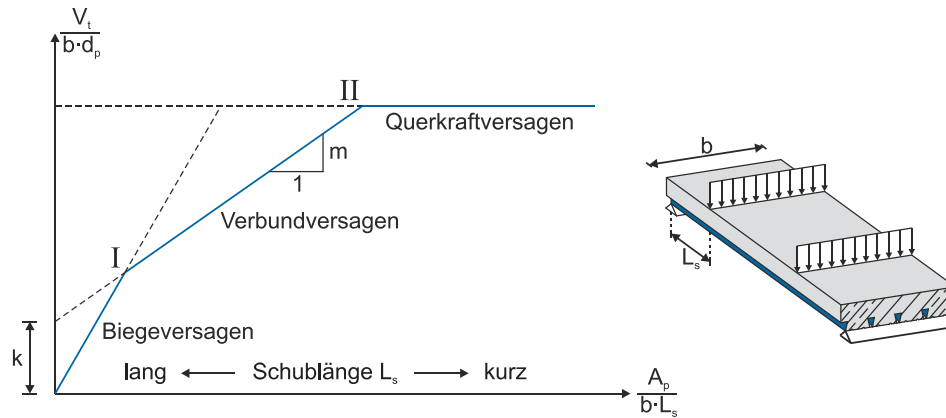
Einfluss einer äußeren Normalkraftbeanspruchung

DIN EN 1992-1-1: 2011-01, Kap. 6.2.2

DIN EN 1992-1-1: 2011-01, Gl. (6.2.a)

Längsschubtragfähigkeit

- m+k-Verfahren

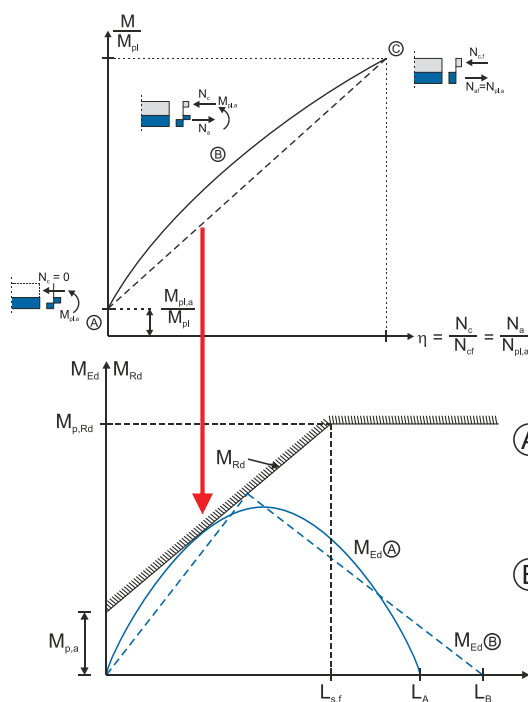


$$V_{l,Rd} = \frac{b \cdot d_p}{\gamma_{VS}} \cdot \left(\frac{m \cdot A_p}{b \cdot L_s} + k \right) \geq V_{Ed}$$

Längsschubtragfähigkeit

- m+k-Verfahren

– Teilverbundverfahren



$$\frac{M_{Ed}(x)}{M_{Rd}(x)} \leq 1,0$$

$L_{sf} \leq L_x$: volle Biegetragfähigkeit wird maßgebend

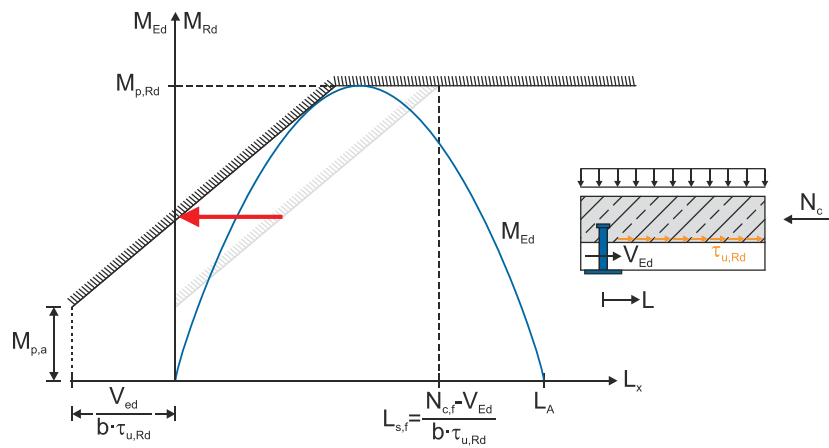
$L_{sf} > L_x$: Verbundfestigkeit maßgebend
(Teilverdübelung)

$$L_{sf} = \frac{|N_{c,f}|}{\tau_{u,Rd} \cdot b}$$

$t_{u,Rd}$ aus bauaufs. Zulassung

– Teilverbundverfahren

- Teilverbundverfahren, Effekt von Endankern

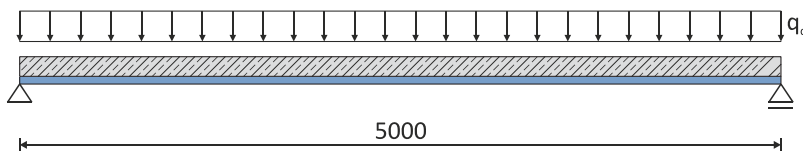


$$P_{pd,Rd} = k_{\varphi} \cdot d_{do} \cdot t \cdot f_{yp,d}$$

$$k_{\varphi} = 1 + \frac{a}{d_{do}} \leq 6,0$$

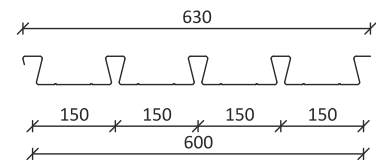
$a \geq 1,5 \cdot d_{do}$ (Abstand Dübelachse bis Blechende)

- Teilverbundverfahren, Effekt von Endankern

Beispiel 12: Verbunddecke

Holorib

HR 51/150/0,88



Beton C 20/25:

$$f_{ck} = 20 \text{ N/mm}^2 \quad \gamma_c = 1,5 \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 13\frac{1}{3} \text{ N/mm}^2$$

Betonstahl BSt 500 (A):

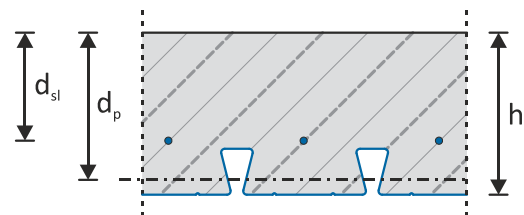
$$f_{sk} = 500 \text{ N/mm}^2 \quad \gamma_s = 1,15 \quad f_{yd} = \frac{f_{sk}}{\gamma_s} = 435 \text{ N/mm}^2$$

Profilblech HR 51/150/0,88:

$$f_{yp,k} = 320 \text{ N/mm}^2 \quad \gamma_p = 1,1 \quad f_{yp,d} = \frac{f_{yp,k}}{\gamma_p} = 291 \text{ N/mm}^2$$

Ziel: Nachweis der Tragfähigkeit**Querschnittswerte**

$$h = 180,0 \text{ mm}$$

**Schnittgrößen**

Ermittlung der plastischen Nulllinie

DIN EN 1994-
1-1: 2010-12,
Bild 9.5

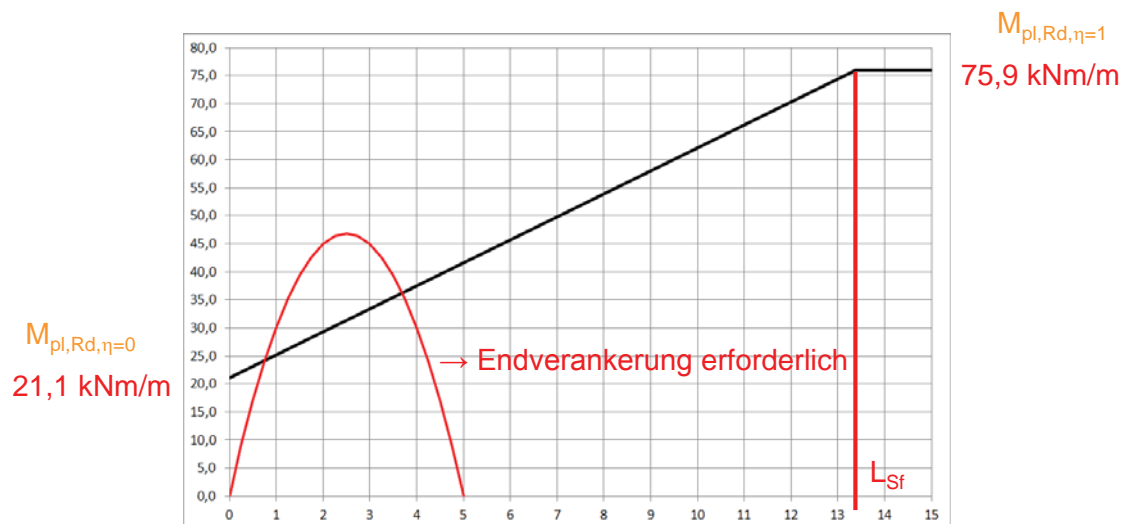
- Innere Hebelarme

Plastisches Moment $M_{pl,Rd}$ bei voller Verdübelung ($\eta = 1,0$)

Plastisches Moment $M_{pl,Rd}$ beim Verdübelungsgrad $\eta = 0$

Erforderliche Verbundlänge bei voller Verdübelung

$$\tau_{pl,Rd} = 34,0 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{aus bauaufsichtlicher Zulassung})$$

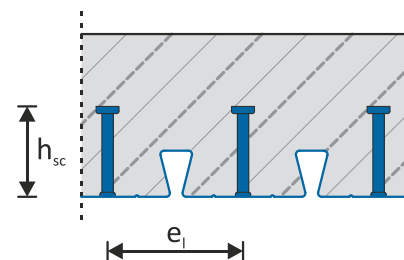


Berechnung der Endverankerung

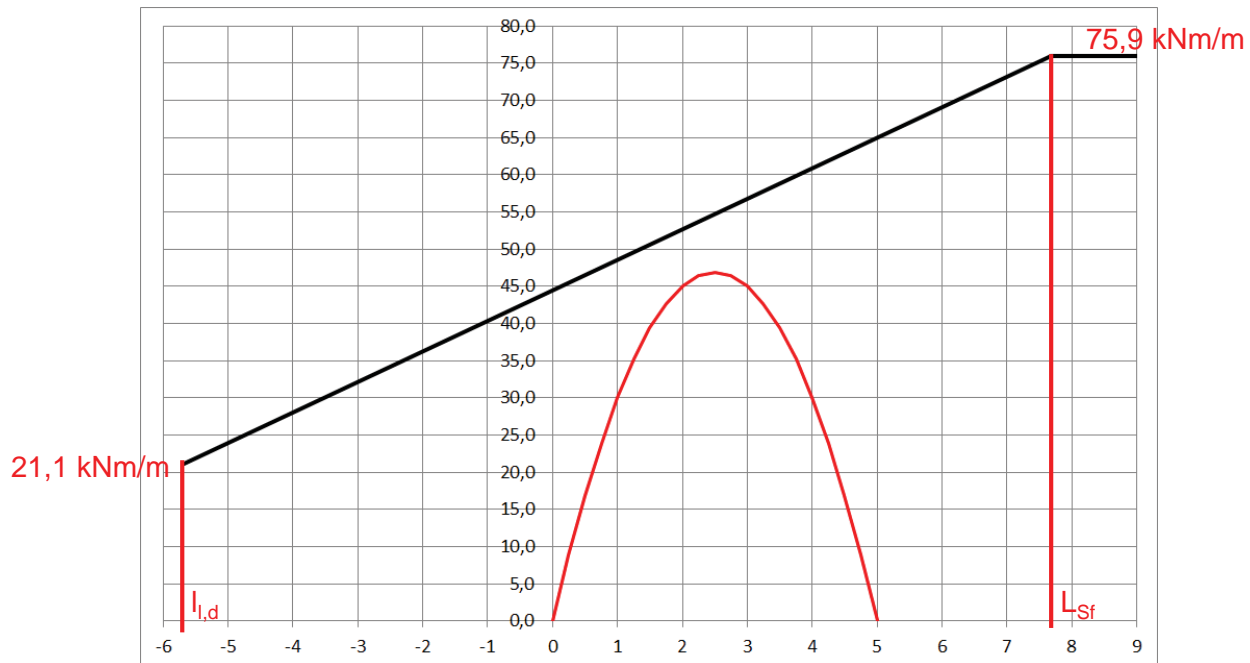
- Kopfbolzendübel $\varnothing 13$, $h_{sc} = 100 \text{ mm}$:

$$P_{Rd} = 28,98 \text{ kN}$$

DIN EN 1994-1-1: 2010-12, 9.7.4



- Virtuelle Vorblechlänge



Querkrafttragfähigkeit

$$b_o = 150 - 36 = 114 \text{ mm}$$

$$= 114 \cdot \left(\frac{1}{0,15 \text{ m}} \right) = 760 \text{ mm/m}$$

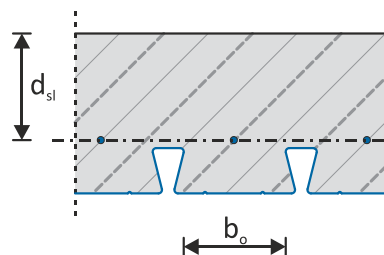
$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = 0$$

$$A_{p,eff} = A_p \frac{V_{e,Rd} + \tau_{u,Rd} \cdot L_{bs} \cdot b}{A_p \cdot f_{yp,d}} = 15,62 \frac{193,23 + 34,0 \cdot 0,15 \cdot 1}{15,62 \cdot 29,1} = 6,82 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$d = \frac{a_s \cdot d_s \cdot f_{sd} + A_{p,eff} \cdot d_p \cdot f_{y,p,d}}{a_s \cdot f_{sd} + A_{p,eff} \cdot f_{yp,d}} = \frac{3,35 \cdot 120 \cdot 43,5 + 6,82 \cdot 163,5 \cdot 29,1}{3,35 \cdot 43,5 + 6,82 \cdot 29,1} = 145 \text{ mm}$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl} + A_{p,eff}}{b_o \cdot d} = \frac{3,35 + 6,82}{76,0 \cdot 145} = 0,0092 \leq 0,02$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_{sl}}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{145}} = 2,17 \leq 2,0 \rightarrow k = 2,0$$



DIN EN 1992-1-1: 2011-01, Kap. 6.2.2

$$\begin{aligned} V_{Rd,c} &= \left[\frac{0,15}{\gamma_c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{2}{3}} - 0,12 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_o \cdot d_{sl} \\ &= \left[\frac{0,15}{1,5} \cdot 2,0 \cdot (100 \cdot 0,0092 \cdot 20)^{\frac{2}{3}} - 0,12 \cdot 0 \right] \cdot 760 \cdot 145 \cdot 10^{-3} \\ &= 58,2 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

DIN EN 1992-1-1: 2011-01, Gl. (6.2.a)

$$V_{Ed(x=d)} = V_{Ed(x=0)} - d \cdot q_d = 37,5 - 0,145 \cdot 15 = 35,325 \text{ kN/m}$$

Nachweis

$$\frac{V_{Ed(x=d)}}{V_{Rd,c}} = \frac{35,325}{58,2} = 0,61 \leq 1,0 \rightarrow \text{keine Querkraftbewehrung erforderlich}$$